

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ **Юрій ПЕТРАКОВ**
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Аналіз технологічних можливостей ділянки для механічної обробки
деталей і підвищення її ефективності

Виконав:

студент б - го курсу, групи МТ - 91мн

_____ **Найчук Роман Юрійович** _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор Воронцов Борис Сергійович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій ПЕТРАКОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Найчуку Роману Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Аналіз технологічних можливостей дільниці для механічної обробки деталей і підвищення її ефективності

науковий керівник Воронцов Борис Сергійович, д.т.н., професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2020р. № 3205-с

2. Термін подання студентом дисертації « 12 » травня 2021 р.

3. Об'єкт дослідження Технологічний процес виробництва пакувальної машини АРУК 80 та її компонентів в рамках виробничого комплексу

4. Вихідні дані Технічне завдання на проектування виробничого комплексу, креслення деталей пакувальної машини АРУК 80, складальне креслення пакувальної машини АРУК 80, 3D - модель каркасу будівлі, показники для $T_{ш}$ для ряду операцій

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Окреслити концепцію застосування PLM - продуктів та розкрити призначення її складових, створити візуальну 3D - модель дільниці для механічної обробки деталей та виробничого комплексу, створити імітаційну модель досліджуваної дільниці та виробничого комплексу, оцінити показники ефективності вихідної конфігурації досліджуваної дільниці та виробничого комплексу, розробити рекомендації щодо підвищення ефективності дільниці механічної обробки, перевірити доцільність впровадження запропонованих кроків, провести статистичні дослідження імітаційної моделі
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Презентація у форматі Microsoft PowerPoint, що містить 20 слайдів ілюстративного матеріалу
7. Орієнтовний перелік публікацій Дві публікації у збірниках праць міжнародних науково - технічних конференцій
8. Дата видачі завдання 07 вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення теми дисертації		
2	Дослідження наявних матеріалів за темою		
3	Створення імітаційної моделі для проведення досліджень		
4	Дослідження показників ефективності вихідної конфігурації		
5	Розроблення шляхів підвищення продуктивності та перевірка запропонованих кроків		
6	Вибір доцільних методів проведення статистичних досліджень		
7	Створення стартап - проекту, визначення стратегій розвитку		
8	Оформлення магістерської дисертації		

Студент

Роман Найчук

Науковий керівник

Борис Воронцов

РЕФЕРАТ

Структура роботи.

Магістерська дисертація містить 4 розділи з висновками до кожного з них, загальні висновки, список використаних джерел, що викладено на 92 сторінках тексту, включаючи 64 рисунка, 14 таблиць та 29 використаних джерел.

Актуальність теми.

В умовах сучасного висококонкурентного ринку, особливої уваги потребує не тільки технологічність кінцевого продукту, а й ефективність процесу його виробництва. Імітаційне дослідження виробничих процесів та явищ, що є складовою широкого функціонала новітніх PLM - продуктів, є інструментом оптимізації як існуючих підприємств, так і виробничих комплексів, що знаходяться на етапі проектування.

Мета й завдання дослідження.

Метою дослідження, виконаного в рамках магістерської дисертації, є пошук шляхів підвищення ефективності дільниці для механічної обробки деталей виробничого комплексу “Базис”, що знаходиться на етапі проектування, а саме збільшення річного обсягу виробництва деталей “Стінка”, “Колодка”, “Штанга”, що є компонентами пакувальної машини АРУК 80.

Завдання дослідження:

- аналіз вихідної конфігурації дільниці для механічної обробки деталей;
- розроблення кроків підвищення показників дільниці для механічної обробки деталей;
- перевірка запропонованих шляхів підвищення ефективності;
- статистичні дослідження модифікованої конфігурації дільниці.

Об’єкт дослідження.

Технологічний процес виробництва пакувальної машини АРУК 80 та її компонентів в рамках виробничого комплексу.

Предмет дослідження.

Показники ефективності дільниці для механічної обробки деталей та виробничого комплексу в цілому, а саме річний обсяг виробництва продукції.

Методи дослідження.

Візуальне моделювання в середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation, дослідження методами імітаційного моделювання в середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation, статистичні дослідження в середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation та ПРІАМ 2.0.

Наукова новизна отриманих результатів.

Результати досліджень, проведених в рамках виконання магістерської дисертації, мають наступну наукову новизну:

- описано методику впровадження та приклад використання методів імітаційного моделювання для дослідження підприємства вітчизняної виробничої сфери;
- на основі результатів досліджень методами імітаційного моделювання, розроблено кроки підвищення ефективності ділянки для механічної обробки деталей;
- для проведення статистичних досліджень скомбіновано функціонал середовищ Siemens Tecnomatix Plant Simulation та ПРІАМ 2.0.

Публікації.

Найчук Р. Ю. Аналіз технологічних можливостей ділянки для механічної обробки деталей і підвищення її ефективності / Б. С. Воронцов // Інновації молоді в машинобудуванні (Youth Innovations in Mechanical Engineering). За заг. ред. Данильченка Ю. М. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – № 2. – 518 с., С. 485-494. – Режим доступу до ресурсу: <http://imm-mm.kpi.ua/proc/article/view/202709>

Найчук Р. Ю. Імітаційне моделювання технологічних можливостей заготівельного участку / Б. С. Воронцов // Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 14-15 квітня 2021 р. / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 291 с., с. 196 - 201

Ключові слова: ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, КЕРУВАННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ВИРОБУ, TECNOMATIX PLANT SIMULATION.

РЕФЕРАТ

Структура работы.

Магистерская диссертация содержит 4 раздела с выводами к каждому из них, общие выводы, список использованных источников, изложена на 96 страницах текста, включая 64 рисунка, 14 таблиц и 29 использованных источников.

Актуальность темы.

В условиях современного высококонкурентного рынка, особого внимания требует не только технологичность конечного продукта, но и эффективность процесса его производства. Имитационное исследование производственных процессов и явлений, является частью широкого функционала новейших PLM - продуктов, в роли инструмента оптимизации, как существующих предприятий, так и производственных комплексов, находящихся на этапе проектирования.

Цель и задачи исследования.

Целью исследования, выполненного в рамках магистерской диссертации, является поиск путей повышения эффективности участка для механической обработки деталей производственного комплекса "Базис", который находится на этапе проектирования, а именно увеличение годового объема производства компонентов упаковочной машины АРУК 80.

Задачи исследования:

- анализ исходной конфигурации участка для механической обработки деталей;
- поиск путей повышения показателей участка для механической обработки деталей;
- проверка предложенных путей повышения эффективности.

Объект исследования.

Технологический процесс производства компонентов упаковочной машины АРУК 80.

Предмет исследования. Показатели эффективности участки для механической обработки деталей и производственного комплекса в целом, а именно годовой объем производства продукции.

Методы исследования.

Визуальное моделирование в среде Siemens Tecnomatix Plant Simulation, исследования методами имитационного моделирования в среде Siemens Tecnomatix Plant Simulation, статистические исследования в среде Siemens Tecnomatix Plant Simulation и ПРИАМ 2.0.

Научная новизна полученных результатов.

Результаты исследований, проведённых в рамках выполнения магистерской диссертации, имеют следующую научную новизну:

- описана методика внедрения и пример использования методов имитационного моделирования для исследования предприятия отечественной производственной сферы;
- на основе результатов исследований методами имитационного моделирования разработаны шаги повышения эффективности участка для механической обработки деталей;
- скомбинирован среды Siemens Tecnomatix Plant Simulation и ПРИАМ 2.0.

Публикации.

Найчук Р. Ю. Анализ технологических возможностей участка для механической обработки деталей и повышение ее эффективности / Б. С. Воронцов // Инновации молодежи в машиностроении (Youth Innovations in Mechanical Engineering). Под общ. ред. Данильченко Ю. М. - К. КПИ им. Игора Сикорского, 2020. - № 2. - 518 с., С.485-494.-режим доступа к ресурса: [http: // imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/202709](http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/202709)

Найчук Р. Ю. Имитационное моделирование технологических возможностей заготовительного участка / Б. С. Воронцов // Молодая наука - роботизация и нано-технологии современного машиностроения: сборник научных трудов Международной молодежной научно-технической конференции, 14-15 апреля 2021 / Под. ред. С.В. Ковалевского, д-ра техн. наук., проф. - Краматорск: ДГМА, 2021. - 291 с., с. 196 - 201

Ключевые слова: ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ, TECNOMATIX PLANT SIMULATION.

ABSTRACT

Structure of work.

The master's dissertation contains 4 sections with conclusions to each of them, general conclusions, a list of sources used, which outlined in 96 pages of text, includes 45 figures, 14 tables and 29 used sources.

Actuality of the research.

In today's highly competitive market, special attention requires not only the manufacturability of the final product, but also efficiency the process of its production. Simulation study of production processes and phenomena that are part of the broad functionality of the latest PLM - products are a tool for optimizing both existing enterprises and production complexes that are at the design stage.

The purpose and objectives of the study .

The purpose of the research performed in the master's dissertation is search for ways to increase the efficiency of the site for machining details of the production complex "Basis", which is at the stage design, namely the increase in the annual production of parts "Stinka", "Kolodka", "Shtanha", which are components of the packaging machine ARUK 80. Objectives of the study:

- analysis of the initial configuration of the site for machining parts;
- development of steps to increase the performance of the site for mechanical processing of details;
- verification of the proposed ways to increase efficiency;
- statistical studies of the modified configuration of the site.

Research methods.

Visual modeling in the environment of Siemens Tecnomatix PlantSimulation, research by methods of simulation in the environment Siemens Tecnomatix Plant Simulation, statistical studies in the environment Siemens Tecnomatix Plant Simulation and PRIAM 2.0.

Scientific novelty of the obtained results.

The results of research conducted as part of the master's degree dissertations have the following scientific novelty:

- the method of implementation and an example of using methods are described simulation modeling for the study of domestic enterprises production sphere;
- based on the results of research by simulation methods, developed steps to increase the efficiency of the site for mechanical processing of details;
- for conducting statistical research the functionality is combined Siemens Tecnomatix Plant Simulation and PRIAM 2.0.

Publications.

Naychuk R.Y. Analysis of technological capabilities of the site for mechanical processing of details and increase of its efficiency / B. S. Vorontsov // Youth Innovations in Mechanical Engineering. <http://imm.mmi.kpi.ua/proc/article/view/202709>

Naychuk R. Y. Simulation modeling of technological possibilities procurement site / B. S. Vorontsov // Young science - robotics and nano-technologies of modern mechanical engineering: a collection of scientific works of the International youth scientific and technical conference, April 14-15, 2021, Kramatorsk: DSEA, 2021. - 291 p., p. 196 - 201

Keywords: SIMULATION MODELING, PRODUCT LIFE CYCLE MANAGEMENT, TECNOMATIX PLANT SIMULATION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1	15
1.1 PLM - продукти: види, галузі застосування, принципи впровадження. Концепція “цифрового двійника”.....	15
1.2 Поняття імітаційного моделювання. Означення дискретно - подійного моделювання як виду імітаційного моделювання	24
1.3 Огляд PLM - продукту Siemens Tecnomatix Plant Simulation	31
Висновки	34
РОЗДІЛ 2	36
2.1 Аналіз вихідних даних для створення імітаційної моделі.....	36
2.2 Розроблення візуальної 3D - моделі.....	44
2.3 Створення імітаційної моделі	52
Висновки	60
РОЗДІЛ 3	61
3.1 Оцінка технологічних можливостей вихідної конфігурації ділянки та виробничого комплексу.....	61
3.2 Розробка шляхів збільшення річного обсягу виробництва	65
3.3 Перевірка запропонованих шляхів підвищення ефективності.....	70
3.4 Статистичні дослідження	72
Висновки	79
РОЗДІЛ 4	80
4.1 Опис ідеї проекту	80
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	82
4.3 Аналіз ринкових можливостей	83
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	90

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	93
Висновки	97
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

DES - Discrete - Event Simulation

CAD - Computer - Aided Design

CAE - Computer-Aided Engineering

CAM - Computer - Aided Manufacturing

CAPP - Computer-Aided Process Planning

ISO - International Organization for Standardization

IT - Information Technology

NIST - National Institute of Standards and Technology

PDM - Product Data Management

PLM - Product Lifecycle Management

QMS - Quality Management System

ВСТУП

Виробничі компанії, що працюють в основних галузях промисловості, стикаються з серйозними проблемами в проектуванні та керуванні сучасними виробничими системами, які стають дедалі складнішими, багаторівневими системами або ж “системами систем”. На додачу, реалії конкурентного ринку вимагають швидкості прийняття рішень та точності прогнозування. Розробку імітаційних моделей з допомогою PLM - систем запропоновано як рішення, засноване на моделюванні життєвого циклу продукту, починаючи з вимог до процесу виготовлення, закінчуючи відстеженням показників реального виробництва. Проектування виробничого процесу, що передуює впровадженню виробництва, моделювання поведінки на протязі усіх фаз життєвого циклу продукту, а також оптимізація є ефективними та дієвими способами створення конкурентоспроможного продукту.

Цифрове виробництво, тобто створення віртуальних моделей ліній, дільниць, участків є невід’ємною складовою концепції “Індустрія 4.0”, що передбачає створення виробничих систем, здатних не тільки до виготовлення продукції, а й до збору, аналізу даних в реальному часі та корекції процесів в автоматичному режимі. Теорія “Індустрія 4.0” передбачає наявність так званого “цифрового двійника” - цифрової копії об’єкту чи процесу, здатного містити в собі історичну та актуальну інформацію, яку можна використати задля підвищення ефективності реального об’єкту.

Одними з ключових інструментів для створення “цифрового двійника” є PLM - продукти, як засоби інженерії, необхідні для підтримки цифрової трансформації існуючих та майбутніх підприємств. Загалом, поняття PLM - продукт є обширним, охоплюючи велику кількість напрямів діяльності підприємства. Серед них виділяють напрями контролю виробництва, проектування нової продукції, підвищення ефективності виробничого процесу, збір та групування інформації. Водночас, існує безліч продуктів направлених на менеджмент та маркетинг підприємства, що безпосередньо не відносяться до питань інженерії. Але вочевидь, можна виділити низку загальних

довгострокових цілей використання PLM - систем, що переслідують постачальники програмного забезпечення та їх кінцеві споживачі. Серед них:

- зменшення витрат;
- підвищення продуктивності;
- підтримання рівня якості;
- забезпечення стійкості;
- покращення гнучкості.

PLM - продукт - це перший ресурс, де об'єднується вся інформація про продукт, від маркетингової складової та дизайну, до методів виробництва та обслуговування в ході життєвого циклу.

РОЗДІЛ 1

1.1 PLM - продукти: види, галузі застосування, принципи впровадження.

Концепція “цифрового двійника”

За напрямками впровадження PLM - продукти поділяють на наступні категорії [1]:

- системна інженерія (system engineering) - основною ціллю впровадження є досягнення кінцевим продуктом всіх вимог замовника та координація процесу проектування. Водночас, можливе додавання системи контролю якості QMS. За допомогою цих систем реалізується принцип паралелізації вирішення питань інженерії (concurrent engineering). В рамках цього принципу, розробка будь-якого продукту може бути реалізована в будь-якій точці світу, паралельно, декількома конструкторськими бюро. Поряд з системами PLM, цей принцип реалізується завдяки міжнародним стандартам в оформленні конструкторської документації. Представниками цієї групи PLM - систем є наступні програмні додатки: Autodesk Vault, ProductCenter PLM, CMPRO тощо [2];
- ресурсна інженерія (Project Portfolio Management) - загалом, ціллю цієї групи PLM - систем є контроль за розподіленням та регулюванням наявних виробничих ресурсів, аналіз доцільності використання обладнання, виявлення потреб у ресурсах для нових продуктів. Основним програмним додатком цієї групи є Siemens Tecnomatix Plant Simulation [3];
- програми, що поряд з CAD - системами, використовуються безпосередньо на етапі розроблення нових продуктів, прототипування, тестування, а також доопрацювання існуючих виробів. Типовими представниками цієї групи програмних забезпечень є: Autodesk Fusion Lifecycle PLM, Siemens Teamcenter PLM, Dassault ENOVIA тощо [2];
- програми, що поряд с CAM - продуктами, є інструментом контролю та аналізу методів та технологій виробництва продукту. Один з

інструментів, що використовується для цих цілей: Siemens NX for Manufacturing [2];

- програми для керування даними про виріб, PDM - системи, що використовуються для зберігання та класифікації будь-якої інформації про виріб - креслень, 3D моделей, специфікацій тощо. Є невід'ємною складовою системи контролю за внесенням змін (change management). Використовуються як ефективний інструмент забезпечення сучасного багатомономенклатурного виробництва. Дозволяють будь-якому робітнику, що має доступ до системи, в один клік отримати повну інформацію про виріб, матеріал, технологію виготовлення, замовника, умови обслуговування, спосіб утилізації тощо. Програмні продукти, здатні реалізувати ці функції: PTC Windchill, PTC PLM, Siemens PLM тощо [2].

Для швидкого орієнтування в цілях застосування PLM - засобів, можна скористатися наведеною таблицею 1.1.1, що містить перелік сфер застосування та ключові завдання PLM - продуктів, що виконуються в рамках цих напрямів [2].

Таблиця 1.1.1 - Ключові завдання PLM - програм

Напрямок впровадження	Ключові завдання
Етап проектування	Створення, корегування, аналіз
Етап виробництва	Створення, моделювання, оптимізація
Етап постачання	Розподілення, доставка, відстеження
Експлуатація	Діагностика, налаштування, обслуговування, ремонт
Кінець життєвого циклу	Відновлення, переробка, утилізація

Використовуючи статистичні дані [2], будемо кругову діаграму (рис.1.1.1), що графічно представляє обсяги використання PLM - продуктів за напрямками впровадження компаніями, в період з 2010 по 2016 роки. Дані, що використані для побудови діаграми, зібрані опираючись на застосування PLM - систем не тільки в машинобудуванні, а в усіх галузях виробництва чи надання послуг.

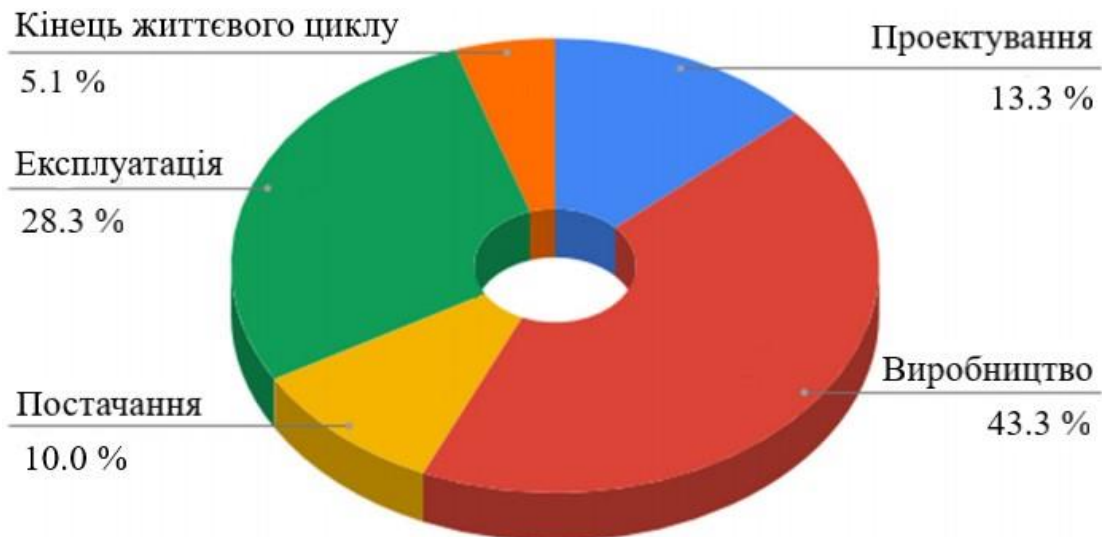


Рис.1.1.1 - Використання PLM - засобів за напрямками впровадження

Узагальнивши наведені категорії PLM - систем, можна виділити основні галузі впровадження [4]:

- інженерні інструменти;
- інструменти керування даними;
- інструменти керування бізнесом.

Для наглядного опису можливостей застосування PLM - систем, використано блок - схему (рис.1.1.2). Аналізуючи блок - схему, можна дійти висновку, що процес впровадження PLM - системи на виробництво є складним та дороговартісним. Щоб досягти успіху в розгортанні та впровадженні системи PLM, потрібно дотримуватися систематичного підходу та методології.

Розглядаючи матеріали [5], що стосуються теми впровадження PLM - систем, можна виділити наступні 10 кроків, необхідних для правильного застосування програмних продуктів:

- визначити мету впровадження PLM - продукту - необхідно виділити основні напрями, що потребують оптимізації;
- проаналізувати існуючі ресурси на можливість створення на їх базі PLM - платформи - як мінімум, обов'язковою є робота з CAE - системами;
- ранжувати виробничі процеси за ступенем важливості та впливу на процес випуску готової продукції;

- вибрати уніфіковану модель - зазвичай, постачальники PLM - продуктів розробляють уніфіковані моделі для різних типів багатомоделного виробництва;
- корегувати уніфіковану модель, враховуючи особливості та умови реального виробничого процесу;
- розробити низку вимог до майбутньої PLM - системи - цей крок є дуже важливим, адже орієнтуючись на ці вимоги, постачальник продукту розробляє програмні рішення для компанії - замовника;
- обрати програмне забезпечення, врахувавши попередньо розроблені на основі аналізу ресурсів та можливостей, вимоги. На ринку програмного забезпечення представлено широку лінійку продуктів, що розроблені під різні завдання;
- визначити шляхи розвитку підприємства - врахувавши цей аспект, в майбутньому стане можливим розширення обраного PLM - продукту, а не повна його заміна на інший, з повторення етапів впровадження;
- розробити план навчання персоналу для подальшої коректної роботи з впровадженням продуктом.

Питання вибору правильного програмного забезпечення є дуже важливим, адже наступний перехід від однієї системи до іншої зазвичай є надто складним та дорогавартісним. У класичних системах різні типи конструкторської інформації та даних про виріб, зберігаються або ж на твердих носіях, або у різних цифрових форматах 3D моделей, креслень у цифровому вигляді, специфікацій у різних текстових форматах. Також існують ситуації, коли в ході проектування використовуються САЕ - продукти різних постачальників для кожного етапу. У таких випадках, при реалізації PLM - системи, програмному забезпеченню необхідно об'єднати всі цифрові формати і створити єдине сховище інформації підприємства. Це потребує попередньої архівації, що виконується в ручному режимі для групування інформації за форматами, видалення дублікатів тощо. Отже, створюється своя унікальна база даних, для роботи з якою налаштовується PLM - продукт. І тому, якщо в

майбутньому доведеться змінити керуючий продукт, базу даних доведеться або ж серйозно модифікувати, або ж створювати заново, можливо користуючись іншими САЕ - комплексами. В реальності це потребує значних затрат, переобладнання, повторного навчання персоналу. В ситуаціях коли виникає потреба в зміні PLM - забезпечення через неправильний вибір чи через зміну напряму роботи компанії або ж значного розширення сфери діяльності, часто постає потреба в паралельній роботі в рамках різних програмних забезпечень. Це не тільки потребує більшої кількості часу та ресурсів, а й остаточно перешкоджає зміні PLM - продукту [6].

Поряд з принципами впровадження, виділяють наступні бар'єри на шляху застосування PLM - систем [6]:

- великі затрати на впровадження;
- брак знань в принципах застосування та відсутність інформації про досвід застосування схожими компаніями;
- відсутність ІТ - ресурсів для створення загальної бази даних компанії;
- неспроможність працювати на одній цифровій платформі декільком відділам, підрозділам, службам компанії;
- складна політика ліцензування програмного забезпечення;
- людський фактор - перешкоджання введенню нових засобів та ресурсів з боку персоналу;
- підвищення ефективності можливе лише в довгостроковій перспективі.

Застосування програмних продуктів для керування життєвим циклом виробу потребує розуміння концепції Product Lifecycle Management, не тільки як програмного додатку, а як стратегії компанії в цілому. Можливість працювати в реальному часі над проектами з будь-якої точки світу, відслідковувати зміни та отримувати оновлену інформацію в найкоротший термін є запорукою створення сучасного, конкурентоспроможного продукту, здатного мати успіх не тільки в межах країни - виробника, а й світового ринку в цілому. Також наявність QMS - системи, як складової PLM - засобів, надає

змогу продукту отримати міжнародну відзнаку якості за стандартами ISO, NIST тощо.

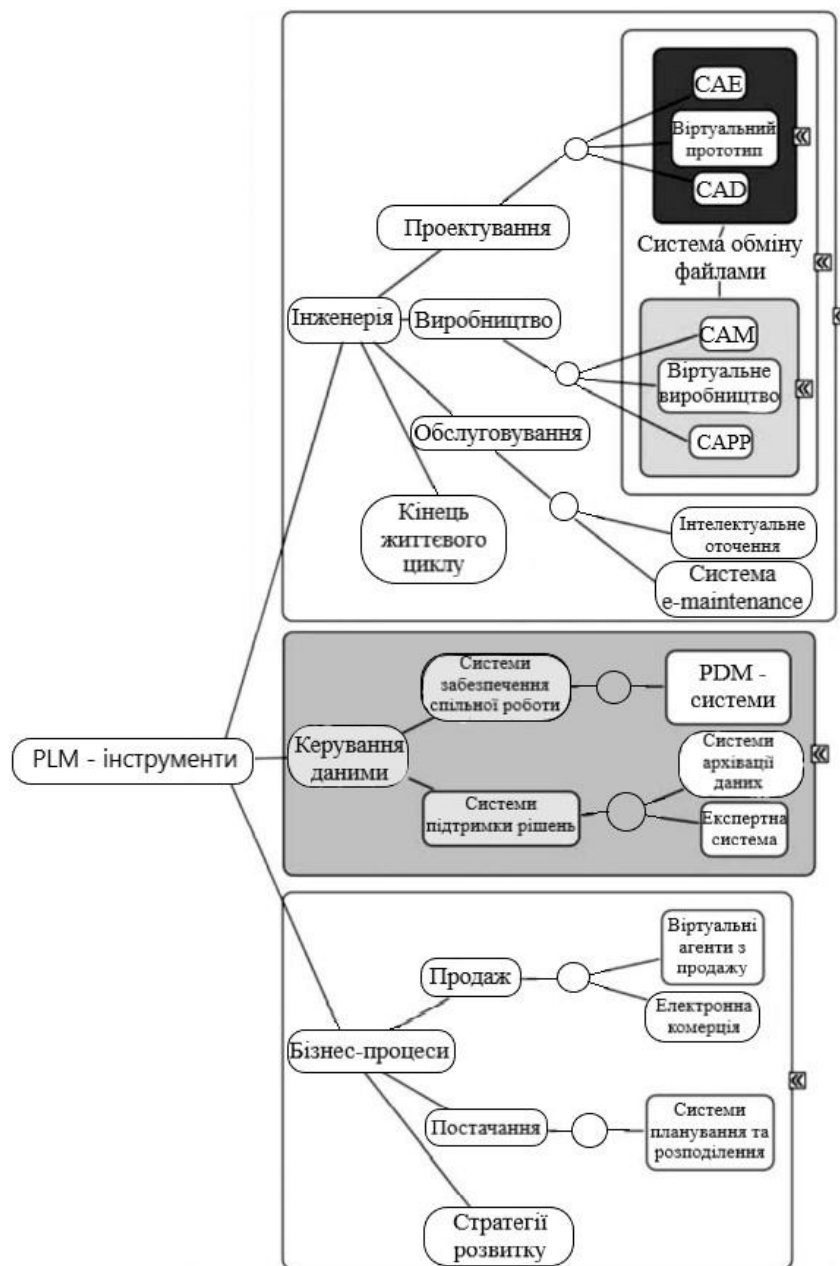


Рис.1.1.2 - Галузі застосування PLM - систем у виробничому процесі

Розглядаючи основні драйвери впровадження PLM - продуктів, такі як [7]:

- внутрішні - постійна потреба в підвищенні ефективності, запуску інноваційних процесів, створенні кардинально нових продуктів;
- зовнішні - глобалізація, що означає можливість виходу на світовий ринок,

можна дійти висновку, що наявність системного підходу в інжинірингу дає змогу навіть малим підприємствам кооперуватися для сумісної роботи на проектах з великими компаніями, або ж створювати спільні підприємства, адже найбільші корпорації світу використовують PLM - системи у всіх сферах своєї діяльності.

Однією з ключових складових концепції “Індустрія 4.0” є створення “цифрових двійників” (digital twins). “Цифровий двійник” - це віртуальна копія реально існуючого об’єкту чи процесу, з двостороннім динамічним зв’язком між фізичним об’єктом та його цифровою моделлю [8]. Стандарт ISO 23247 - 1 визначає основу “цифрового двійника” як віртуальне представлення фізичних елементів виробництва, таких як персонал, продукція, активи та процеси [9]. Стандарт інтерфейсів IEEE 1451, розроблений органом NIST, визначає поняття “цифровий двійник” як цифровий симулятор чи цифрова копія реального IEEE 1451 - інтерфейсу [10]. На рисунку 1.1.3, представлено реалізацію концепції цифрової трансформації в рамках ідеї “Індустрія 4.0” .

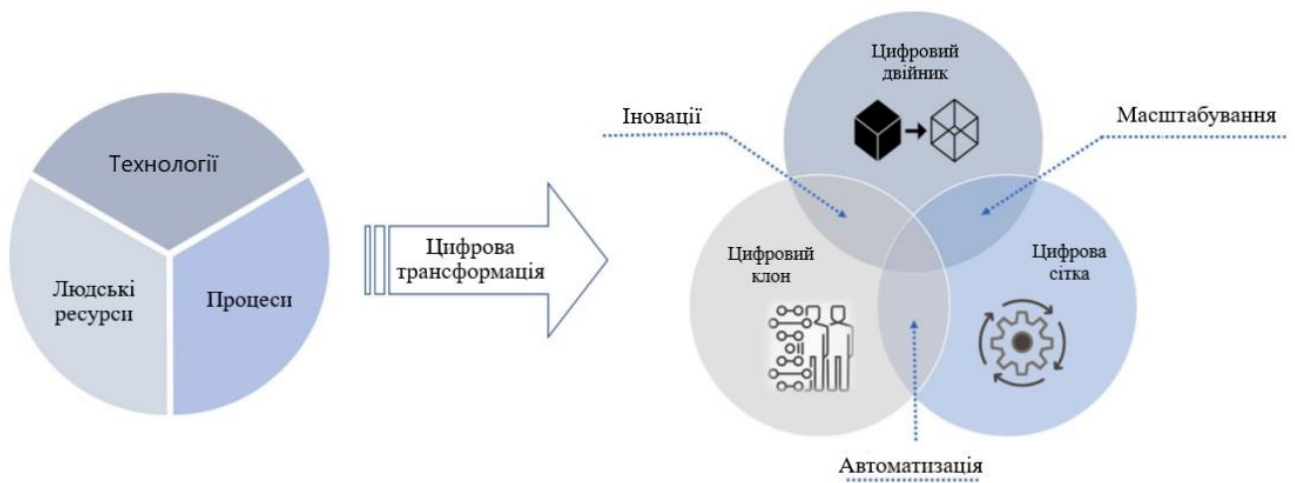


Рис.1.1.3 - Концепція цифрової трансформації виробництва

В рамках виробничої галузі, цифрова копія реального об’єкту має трирівневу структуру, кожному рівню якої відповідає набір даних про фізичний предмет чи процес, що підлягає цифровій трансформації. Структура віртуальної копії представлена на рисунку 1.1.4. Тип даних, що відповідає кожному рівню моделі наступний [8]:

- фізичний рівень - включає дані тестування реального прототипу, такі як виміряні характеристики, отримані моделі поведінки, хімічні та фізичні характеристики матеріалів, всю можливу інформацію якої можна описати реальний об'єкт відповідно до сфери діяльності;
- цифровий рівень - включає дані отримані з CAE - систем, такі як 3D - модель, креслення, моделювання формоутворюючих рухів, результати віртуальних досліджень, вимірів тощо. Враховуючи сучасні принципи проектування, цифровий рівень заповнюється інформацією ще до появи фізичного рівня;
- кібернетичний рівень - на цьому рівні відбувається оброблення отриманої попередньо інформації. Завдяки сучасним технологіям машинного навчання, на кібернетичному рівні можливе діагностування та прогнозування поведінки реального об'єкту. Є найбільш перспективним напрямом розвитку інструменту “цифровий двійник” в рамках концепції “Індустрія 4.0”

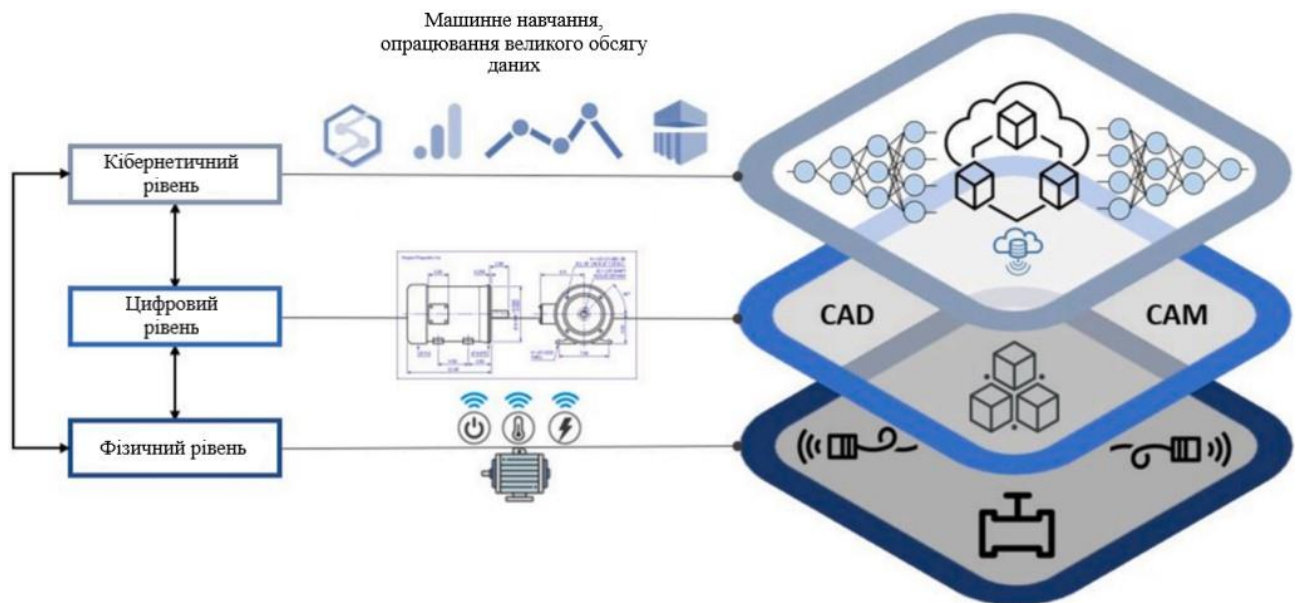


Рис.1.1.4 - Структура віртуальної копії

Опираючись на проведені дослідження [11], виділяють наступні сфери впровадження “цифрових двійників” та переваги використання цієї концепції:

- на етапі проектування цифрові копії використовуються для розробки продукту та виробничої системи, необхідної для його виготовлення у формі ітеративної моделі, для забезпечення цілісності даних, для

віртуальних тестувань, аналізу тощо. Основне завдання - оцінка та перевірка майбутнього продукту. “Цифровий двійник” являє собою високоточну модель, завдяки якій можливе не лише тестування продукту на предмет відповідності поставленим вимогам, а й також прогнозування поведінки під впливом довгострокових факторів. Аналізуючи приклади впровадження цієї концепції, можна дійти висновку, що в більшості випадків мова йде про оцифрування та перепроєктування вже існуючих фізичних об’єктів. Кількість прикладів впровадження концепції “цифрового двійника” щодо процесу проектування нового об’єкта з нуля на даний момент не велика або ж вони недостатньо описанні;

- на етапі виробництва “цифрові двійники” використовуються для моніторингу та контролю виробництва в реальному часі, планування процесів тощо. Реальними об’єктами для створення “цифрових близнюків” переважно є виробничі лінії, дільниці, участки, виробничі процеси тощо. По суті, роль “цифрових близнюків” на етапі виробництва полягає в підвищенні якості обробки та зниженні собівартості продукції методами, що недоступні при традиційному підході. Однак проблеми інтеграції даних та складні для моделювання явища досі залишаються не вирішеними;
- на етапі експлуатації “цифровий двійник” використовується для обслуговування, виявлення та діагностики несправностей, моніторингу стану, автоматизовано, у віддаленому режимі.

Підсумовуючи, можна сказати, що концепція “цифрового двійника”, з наявним двостороннім зв’язком з фізичним об’єктом, є складною для впровадження, потребує індивідуального підходу до кожної сфери застосування, через відсутність уніфікованого програмного забезпечення та методів впровадження, а тому використовуються загалом, великими компаніями, що володіють ресурсами для проведення таких модифікацій виробничого процесу.

1.2 Поняття імітаційного моделювання. Означення дискретно - подійного моделювання як виду імітаційного моделювання

Як правило, модель, призначена для імітаційного дослідження - це математична модель, розроблена за допомогою програмного забезпечення.

Класифікації математичних моделей [12]:

- детерміновані (вхідні та вихідні величини мають фіксовані значення);
- стохастичні (принаймні одна з вхідних або вихідних величин є імовірнісною);
- статичні (застосовуються для описання стану системи у фіксований момент);
- динамічні (застосовуються для дослідження поведінки системи у часі);
- дискретні (існує попередньо обраний набір вхідних величин, суть моделювання в тому щоб виявити набір даних, що дають найкращий результат у обраних часових точках);
- безперервні (за принципом схожі на дискретні, але процес моделювання є постійним, результати опрацьовуються в рамках всього часового проміжку моделювання, а не в окремо обраних точках).

Імітаційне моделювання використовується перед впровадженням нової виробничої лінії, ділянки, участку, технології або процесу для того щоб зменшити шанси отримання продукту, що не відповідає поставленим технічним вимогам, усунути непередбачувані вузькі місця, запобігти недостатньому або надмірному використанню ресурсів, а також для оптимізації системи в цілому.

Особливо важливим є виділення ключової різниці між поняттями “цифровий двійник” та імітаційна модель. Імітаційна модель, на відміну від “цифрового двійника” володіє лише одностороннім зв’язком з фізичним об’єктом, тому не може відслідковувати зміни в режимі реального часу, а потребує ручного внесення корекцій в архітектуру.

Імітаційні моделі містять наступні компоненти: об’єкти системи, вхідні величини, виміряні характеристики та функціональні взаємозв’язки. Майже всі

програмні продукти, створенні для імітаційного моделювання мають засоби для симуляції кожного з вище зазначених компонентів.

Імітаційне моделювання складається з наступних етапів [12]:

- визначення проблеми - виділення недоліків існуючої системи та розробка вимог до створюваної моделі;
- формулювання проблеми - окреслення меж моделювання, виділення області реальної системи, для якої необхідно розробити імітаційну модель. Визначення загальної мети дослідження та окреслення конкретних питань, на які слід відповісти. Конкретизація міри ефективності - критеріїв, на основі яких будуть порівнюватися та класифікуватися різні конфігурації системи. Визначення часових рамок дослідження, тобто чи буде модель використана для одноразового дослідження або регулярних досліджень протягом певного періоду;
- збір та обробка даних про реальну систему, фізичний об'єкт, процес. Виділення випадкових процесів, тобто стохастичних входних величин. Вибір типу розподілу імовірностей стохастичних величин. Для імітаційного моделювання зазвичай використовують наступні типи розподілу імовірностей: нормальний розподіл, експоненціальний розподіл, Пуассонівський розподіл, гіперекспоненціальний розподіл. Як правило, функціонал програмних додатків дозволяє налаштовувати ці параметри без потреби в глибоких знаннях теорії імовірностей;
- розробка моделі - створення мережевої схеми системи, тобто сутність протікання та взаємодії об'єктів в рамках лінії, дільниці, участку, процесу тощо. Трансформація реальних об'єктів в прийнятну для програмного забезпечення форму. Тестування імітаційної моделі на адекватність, перевірка відгуків моделі, на входні величини поза призначених діапазонів;
- встановлення умов експерименту - визначення типу системи: стаціонарна (характеристики не змінюються в часі) чи нестаціонарна (характеристики змінюються з часом), перевірка на наявність помилок в ході моделювання

чи передчасних зупинок моделювання, визначення початкових умов проведення симуляції, розміру вибірок для наступних досліджень для кожної конфігурації моделі, перевірка на наявність кореляційного зв'язку між вхідними величинами;

- перевірка моделі - порівняння продуктивності імітаційної моделі з продуктивністю реальної системи за однакових умов. Проведення статистичних тестів, формування висновків;
- інтерпретація та презентація результатів - розрахунок середнього, дисперсії, довірчого інтервалу методами математичної статистики, перевірка на наявність кореляційного зв'язку між вихідними величинами, інші статистичні дослідження;
- оформлення моделі - розробка інтерфейсу, зрозумілого для кінцевого споживача, налаштування функцій, втілення дизайнерських рішень;
- підготовка супроводжуючої документації - опис моделі, засобів, що використовувалися під час розробки, функціональних можливостей тощо;
- розроблення подальших рекомендацій - поради щодо підвищення точності дослідження, розширення меж моделювання тощо.

Як правило, моделювання реального об'єкту чи процесу використовується при наявності наступних передумов [12]:

- відсутність можливості спостереження процесу чи надвисока вартість проведення натурних досліджень. Імітаційне моделювання використовується не лише для вивчення існуючих одиниць, а й для прогнозування майбутніх явищ на основі досвіду;
- явище, для якого можна сформулювати математичну модель, але аналітичне вирішення поставлених задач неможливе - математична модель являє собою рівняння високого порядку, явище є занадто масштабним та комплексним;
- явище, для якого можна сформулювати та отримати вирішення математичної моделі, але відсутня можливість аналітично перевірити отриману модель на адекватність.

Водночас, необхідно розуміти, що підхід до процесу моделювання, як і до будь - якого дослідження, повинен бути відповідальним та продуманим. Обізнаність про можливі проблеми та недоліки є передумовою правильного використання інструменту, засобу чи методу. В контексті імітаційного моделювання, як частини математичного моделювання явищ чи процесів, виділяють наступні чинники, через які кінцевий результат може бути непридатним для використання в якості підґрунтя для різного роду висновків чи рекомендацій [13]:

- некорректна постановка мети - жоден проект не може бути успішним, якщо його цілі не будуть чітко сформульовані та повністю зрозумілі для всіх зацікавлених сторін. Чітко сформульована мета ефективно керує всіма етапами моделювання. Неоднозначність у постановці цілі може призвести до марно витрачених зусиль або дати результати, які не матимуть ніякої практичної цінності. Друге, але не менш важливе питання, пов'язане з цілями, стосується можливості досягнення заявленої мети. Ціль проекту повинна відповідати реаліям наявних ресурсів. Ресурси, такі як виділений на дослідження час, наявність кваліфікованого персоналу, техніко - економічні запаси можуть бути недостатні для досягнення мети досліджень;
- неправильне виділення області моделювання - деталізація моделі має бути доцільною, відповідати цілям створення моделі. Надмірна деталізація збільшує складність, що може призвести до перевитрат та затримок, що зазвичай означає провал проекту. З іншого боку, занадто спрощена модель може призвести до втрати чинників, які мають істотне значення для поведінки і отримання достовірних висновків;
- ігнорування явищ несподіваної поведінки моделі - в ході перевірки моделі на адекватність відгуків, частим явищем є поява неочікуваних результатів, але через те, що частота отримання невідповідних результатів є малою в порівнянні з частотою появи задовільних результатів, ці явища усуваються з поля зору оглядача, хоча чинники, що

спричинили неадекватну поведінку моделі потребують детального розгляду та можуть бути вагомими;

- недостатнє поєднання професійних навичок - розробка імітаційних моделей для відповідальних досліджень є багатогранним процесом, що потребує залучення експертів в області математичного моделювання, роботи з обраною PLM - системою, проектування та виробництва деталей, що виробляються чи процесів з якими працює виробництва, операторів верстатів тощо. Відмова від залучення спеціалістів з кожної області, що має відношення до створення імітаційної моделі, означає втрату інформації про нюанси кожного процесу, а отже зменшення точності моделі.

Аналізуючи літературу за темою, можна додати ще декілька чинників, що сприяють отриманню непридатних для практичного використання результатів моделювання [12]:

- використання моделювання у випадку, коли доцільнішим є аналітичне вирішення поставленої задачі;
- використання неправильного розподілу імовірностей вхідних величин;
- заміна стохастичних величин детермінованими;
- некоректний вибір показників ефективності за якими порівнюються конфігурації;
- упередженість щодо вхідних та вихідних величин.

Незважаючи на досить велику вірогідність отримання хибного результату, імітаційне моделювання як частина математичного моделювання, знайшло широке застосування у всіх напрямках діяльності людини. Цьому сприяють наступні позитивні фактори проведення досліджень [12]:

- перевірка гіпотез, щодо використання ресурсів;
- значне скорочення часу порівняно з натурними експериментами та дослідженнями;
- перевірка поведінки системи в стресових ситуаціях, що не можуть бути відтворені в реальних умовах;

- визначення кроків, що мають найбільший вплив на ефективність системи;
- реалізація системного підходу до проектування;
- знаходження найбільш вдалої конфігурації системи.

Особливу увагу слід приділити дискретно - подійному моделюванню (DES). Дискретно-подійна симуляція моделює роботу систему як дискретну послідовність подій у часі. Кожна подія відбувається в конкретний момент часу і означає зміну стану системи. Виробничі заводи, складські системи, системи постачання, комунікаційні мережі, транспортні мережі, а також багато інших процесів піддаються дискретно - подійному моделюванню. У всіх цих системах ключовими показниками є час обробки, період простою, пропускну здатність та використання ресурсів. Як правило, дискретно - подійна модель асоціюється з наступними поняттями [14]:

- робота - означає предмети, робочі місця, операції, процеси тощо;
- ресурси - обладнання, транспортні засоби, робоча сила тощо;
- маршрутизація - технологічний процес виготовлення;
- буфери - проміжні ємності, приміщення тощо. Мають обмежену та необмежену ємність. Якщо ємність обмежена, необхідно розробити алгоритм дій для ситуації коли об'єкт потрапляє в заповнений буфер;
- планування - визначає час доступності кожного з ресурсів;
- послідовність - визначає порядок доступності ресурсів.

Показники часу обробки (мається на увазі час взаємодії продукту з ресурсом, необов'язково означає час механічної обробки на верстаті), періоду простою, пропускну здатності та використання ресурсів є ключовими в теорії масового обслуговування та моделях масового обслуговування [14]. Моделі масового обслуговування, що мають різну ступінь деталізації, є основою для створення дискретно - подійних моделей, в яких маршрутизація, послідовність, планування є основними чинниками, що визначають час обробки, кількість елементів у системі, використання ресурсів та пропускну здатність. Як правило, більшість дискретно - подійних моделей - це або відкриті системи Open - Loop, або закриті Closed - Loop. Робота надходить до відкритої системи ззовні, із

швидкістю, що не залежить від стану системи та поза контроллером системи. На рисунку 1.2.1 зображено п'ять прикладів відкритих систем. Аналітики вивчають подібні системи з метою пошуку найкращого алгоритму маршрутизації, послідовності та планування.

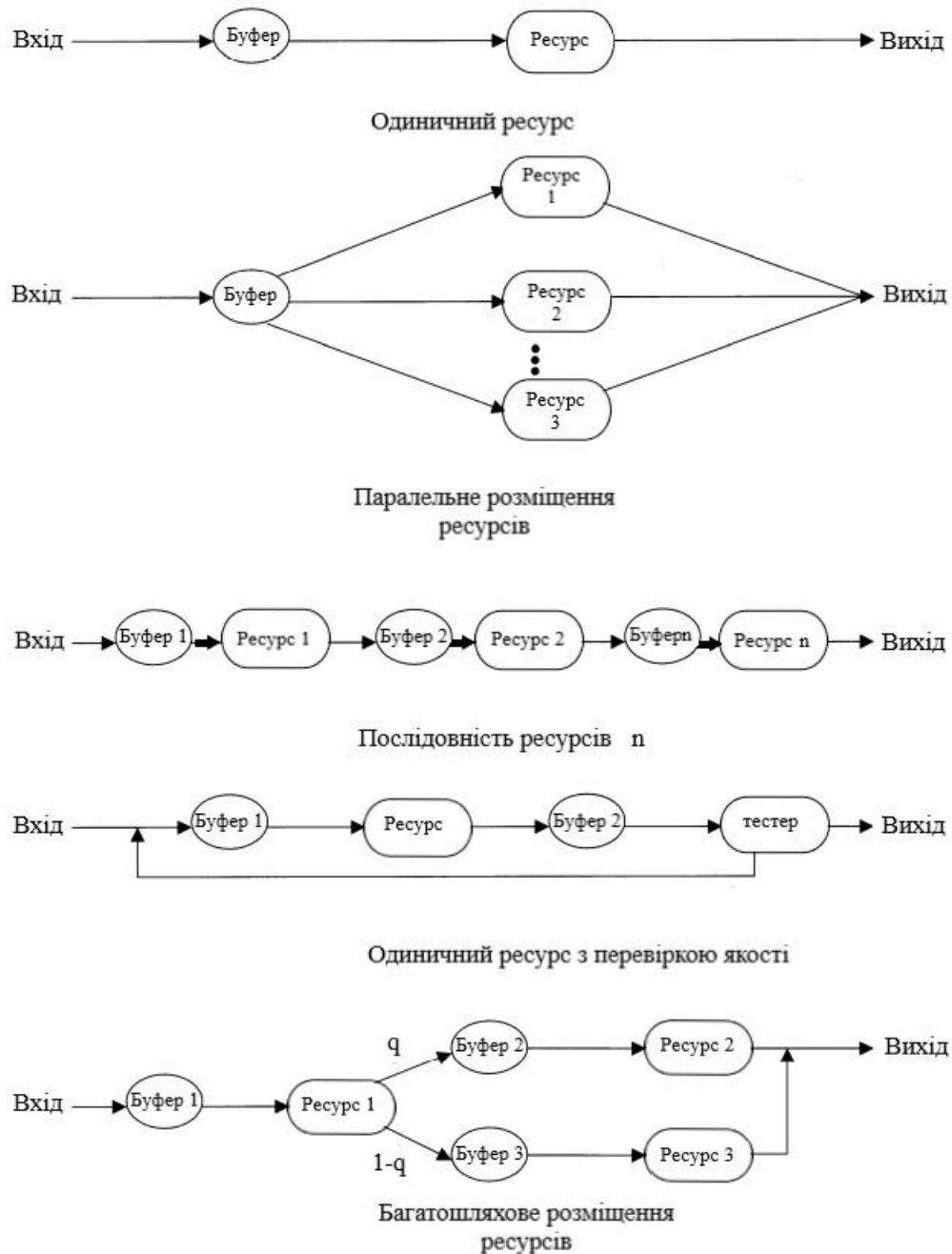


Рис.1.2.1 - Приклади відкритих систем

Більшість виробничих, транспортних та телекомунікаційних систем є закритими системами з контрольованим доступом. На додаток до розроблення алгоритмів маршрутизації, послідовності та планування, існує можливість контролю входу на основі поточного стану системи.

1.3 Огляд PLM - продукту Siemens Tecnomatix Plant Simulation

Siemens Tecnomatix Plant Simulation - це програмне забезпечення, розроблене підрозділом PLM Software, компанії Siemens для моделювання, аналізу, візуалізації та оптимізації виробничих систем та процесів, потоку матеріалів та логістичних операцій. Функціонал Tecnomatix Plant Simulation, дозволяє проводити дослідження матеріальних потоків, алгоритмів використання ресурсів та логістику на всіх рівнях виробництва від глобальних, міжнародних компаній до невеликих майстерень або ж конкретних участків в рамках підприємства. Є частиною концепції Plant Design and Optimization Solution асортименту програмного забезпечення компанії Siemens, разом із продуктами Digital Factory та Digital Manufacturing - є представником програмних забезпечень управління життєвим циклом продукції (PLM). Програмний продукт дозволяє порівнювати конфігурації виробничих систем, включаючи логіку процесу, за допомогою комп'ютерного моделювання.

Siemens Tecnomatix Plant Simulation використовує дискретно - подійне моделювання систем для реалізації моделювання матеріальних потоків. За допомогою моделювання оцінюються комплексні та динамічні робочі процеси підприємства для прийняття математично обґрунтованих рішень. Імітаційна модель дозволяє користувачеві проводити експерименти за сценарієм “якщо..., то”, без порушення роботи реального виробничого середовища, а також, застосовується на етапі проектування, задовго до того, як з'явиться реальна система. Як правило, дослідження матеріального потоку використовується для дискретних виробничих процесів. Ці процеси можливо описати математично та розв'язати чисельними методами. До моменту масового впровадження дискретно - подійних комп'ютерних систем, більшість систем матеріальних потоків моделювалися за допомогою принципів теорії масового обслуговування та математичними методами галузі дослідження операцій. Як правило, рішення отримані в результаті цих розрахунків, були важкозрозумілими і відзначались великою кількістю граничних умов та обмежень, через що мали обмежене практичне застосування.

Siemens Tecnomatix Plant Simulation дозволяє легко створювати добре структуровані, ієрархічні моделі виробничих об'єктів, ліній та процесів, завдяки вбудованій об'єктно - орієнтованій мові програмування SimTalk та користувацькому інтерфейсу стандарту Microsoft UI. Застосування об'єктно - орієнтованого програмування означає, що імітаційні моделі створюються, використовуючи наступні принципи [15]:

- всі складові моделі є об'єктами;
- всі маніпуляції та обчислення виконуються шляхом обміну даними між об'єктами;
- кожен об'єкт є представником класу. Клас виражає властивості всіх об'єктів, що до нього відносяться;
- класи організовано у структури, що називаються бібліотеками класів.

Для програмних продуктів, що створенні для дискретно - подійного моделювання, об'єктно - орієнтована архітектура продукту, а також, у випадку Siemens Tecnomatix Plant Simulation наявність вбудованої об'єктно - орієнтованої мови програмування SimTalk, означає можливість реалізувати наступні функції [16]:

- успадкування - можливість створювати власні класи об'єктів на основі вбудованих. Вихідні класи називаються базовими класами, а нові - їх підкласами. Ця властивість важлива при проектуванні виробничої лінії. Якщо необхідно створити декілька робочих станцій одного типу, що мають однакові властивості, то замість того, щоб налаштовувати кожен з цих станцій окремо, можна налаштувати об'єкт базового класу, а параметри інших машин, що будуть об'єктами підкласів встановити за допомогою властивості успадкування характеристик від базового класу;
- поліморфізм - класи, об'єкти та методи можуть бути легко перевизначені та перевикористані, що дозволяє швидко впроваджувати нові рішення;
- ієрархічна структура - складні, багаторівневі моделі можуть бути розбиті на декілька логічно пов'язаних рівнів (робочих вікна). Ця властивість дозволяє реалізувати дві найпопулярніші стратегії, що використовуються

при обробці інформації, проектуванні, організації тощо: „Зверху вниз” (Top - down) та „Знизу вгору” (Bottom - up).

Функціонал продукту дозволяє проводити статистичні дослідження, будувати графіки та діаграми завантаженості буферів та ресурсів. На додачу, в середовищі продукту є можливим створення 3D - візуалізації підприємства використовуючи вбудовані бібліотеки з 3D - об'єктами або ж експортовані з CAD - систем моделі. По - справжньому цікавою особливістю з точки зору наукового інтересу є інтегровані в програмний продукт, засоби оптимізації.

Сюди входять наступні інструменти [16]:

- GA Wizard - засіб оптимізації імітаційної моделі, що використовує генетичні алгоритми;
- Layout Optimizer - інструмент оптимізації транспортних витрат на основі принципу генетичних алгоритмів;
- Neural Network - засіб, що використовується для виявлення кореляційного зв'язку між вхідними та вихідними величинами та прогнозувань поведінки використовуючи алгоритми машинного навчання;
- Experiment Manager - використовується для перевірки сценаріїв в межах моделі і не потребує внесення змін в модель.

Оцінюючи доступні для огляду матеріали [17], можна виділити ще декілька переваги Siemens Tecnomatix Plant Simulation порівнюючи з іншими PLM - продуктами:

- наявність інструментів статистичного аналізу, здатних інтерпретувати отримані результати в графічному вигляді - діаграм Ганта, діаграм Санкі, діаграм розподілу робочого часу тощо;
- можливість аналізу та оптимізації споживання енергетичних ресурсів;
- 3D-візуалізація та анімація в режимі реального часу основі ISO-стандарту JT;
- відкрита архітектура продукту, підтримка найбільш розповсюджених цифрових інтерфейсів (ActiveX, CAD, Oracle SQL, ODBC, XML, Socket, OPC тощо).

Висновки

У першому розділі магістерської дисертації розкрито ідеологію впровадження технологій “Індустрія 4.0”, таких як PLM - продукти та концепція PLM в цілому, розкрито поняття “цифровий двійник” та імітаційна модель, що є невід’ємними компонентами PLM - систем. Наведено класифікацію PLM - систем за галузями впровадження, основні функції кожного виду, драйвери, передумови та алгоритми впровадження, позитивні сторони застосування PLM - продуктів та можливі негативні наслідки використання останніх, статистичні дані про використання PLM - програмного забезпечення. На основі досліджень літератури за темою, наведено структуру “цифрового двійника”, принципи та напрями впровадження. Розкрито поняття імітаційного моделювання та його порівняння з концепцією “цифровий двійник”, наведено алгоритм створення імітаційної моделі, передумови застосування цього методу моделювання, можливі труднощі впровадження. Водночас, так як імітаційне моделювання, як частина засобів математичного моделювання, є поняттям комплексним та охоплює значну кількість сфер застосування, окреслено поняття дискретно - подійного моделювання, як типу імітаційного моделювання, що застосовується в ході проведення експериментів в рамках магістерської дисертації. Також означено основні поняття пов’язані з дискретно - подійними моделями та їх види.

Окремо наведено опис програмного забезпечення Siemens Tecnomatix Plant Simulation, його архітектуру, функціональні можливості та переваги над іншими PLM - продуктами.

На підставі матеріалів про вітчизняний досвід впровадження PLM - систем [18], концепції “Індустрія 4.0”, можна дійти висновку, що як правило, впроваджують подібні інструменти у виробничий процес великі компанії, що мають достатні для цього ресурси. Водночас, навіть це впровадження зазвичай є неповним, через низький рівень оцифрування та значний відсоток використання універсального та спеціалізованого обладнання без систем ЧПК порівняно з автоматизованим обладнанням. Досвід використання імітаційного

моделювання або концепції “цифрового двійника” на території України описано недостатньо широко, тому відсутня жодна інформація про такого роду процеси.

Об’єктом досліджень виступає виробничий комплекс міжнародної компанії “Базис”, що знаходиться на етапі проектування. Завданням дослідження є створення імітаційної моделі в середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation, аналіз отриманої моделі та розробка рекомендацій щодо оптимізації виробничих процесів задля збільшення річного об’єму виробництва пакувальної машини АРУК 80. Вихідними даними є планування майбутнього комплексу та технічне завдання на проектування підприємства. Технічне завдання містить дані про тип обладнання, номенклатуру оброблюваних деталей, кількість працівників та бажаний обсяг річного виробництва. Враховуючи невеликий обсяг матеріалів, що описують досвід використання PLM - продуктів в цілому та імітаційного моделювання як концептуальної складової цих продуктів для малих та середніх підприємств, є доцільним проведення досліджень в рамках магістерської дисертації.

РОЗДІЛ 2

2.1 Аналіз вихідних даних для створення імітаційної моделі

Виробничий комплекс “Базис” є каркасною, двоповерховою будівлею з повздовжнім розміщенням ригелів та балок, з передбаченими для встановлення підйомно - транспортувального обладнання, підмостовими колонами. Габаритні розміри підприємства 66 x 28 м, загальна площа 1848 м². Виробничі площі розділено на відповідні ділянки:

- заготівельна;
- механооброблююча;
- зварювальна
- фарбувальна;
- збиральна;
- пакувальна.

Планування виробничого комплексу наведено на рис. 2.1.1.

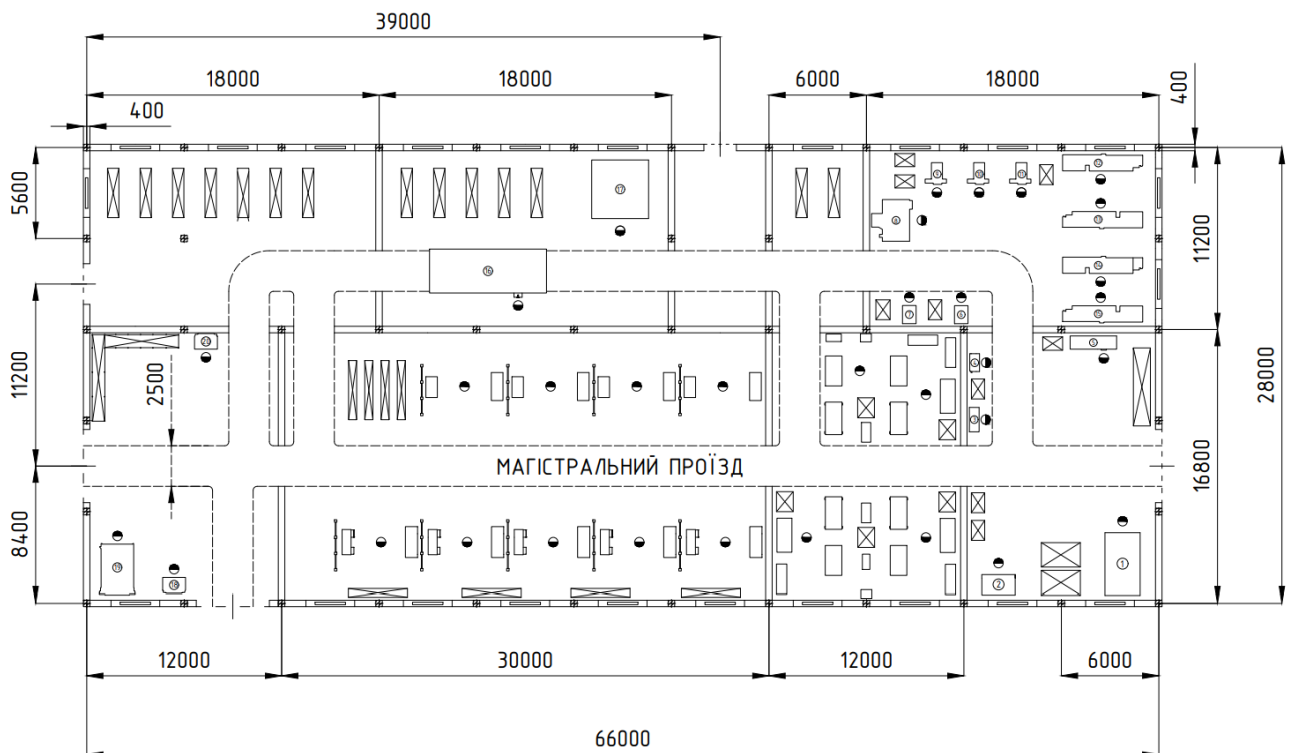


Рис.2.1.1 - Планування першого поверху виробничого комплексу

В рамках виробничого процесу пакувальної машини АРУК 80 здійснюється наступні процеси:

- На рисунках 2.1.2 - 2.1.4 зображено креслення компонентів пакувальної машини, що виготовляються в рамках виробничого процесу.



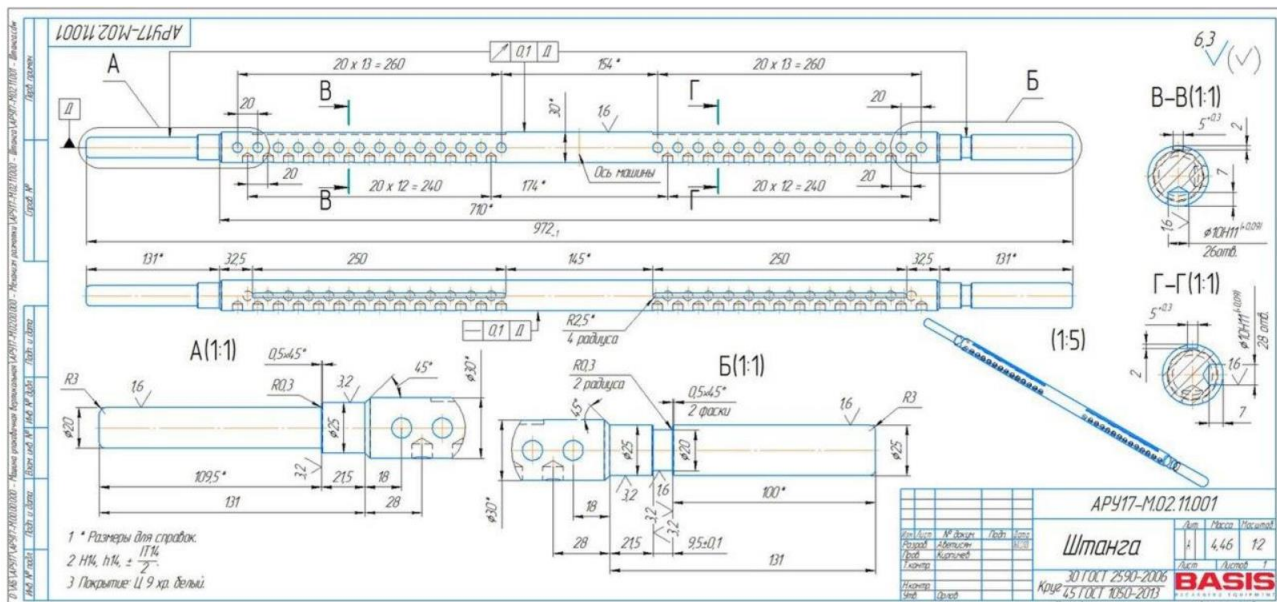


Рис.2.1.3 - Креслення деталі “Штанга”

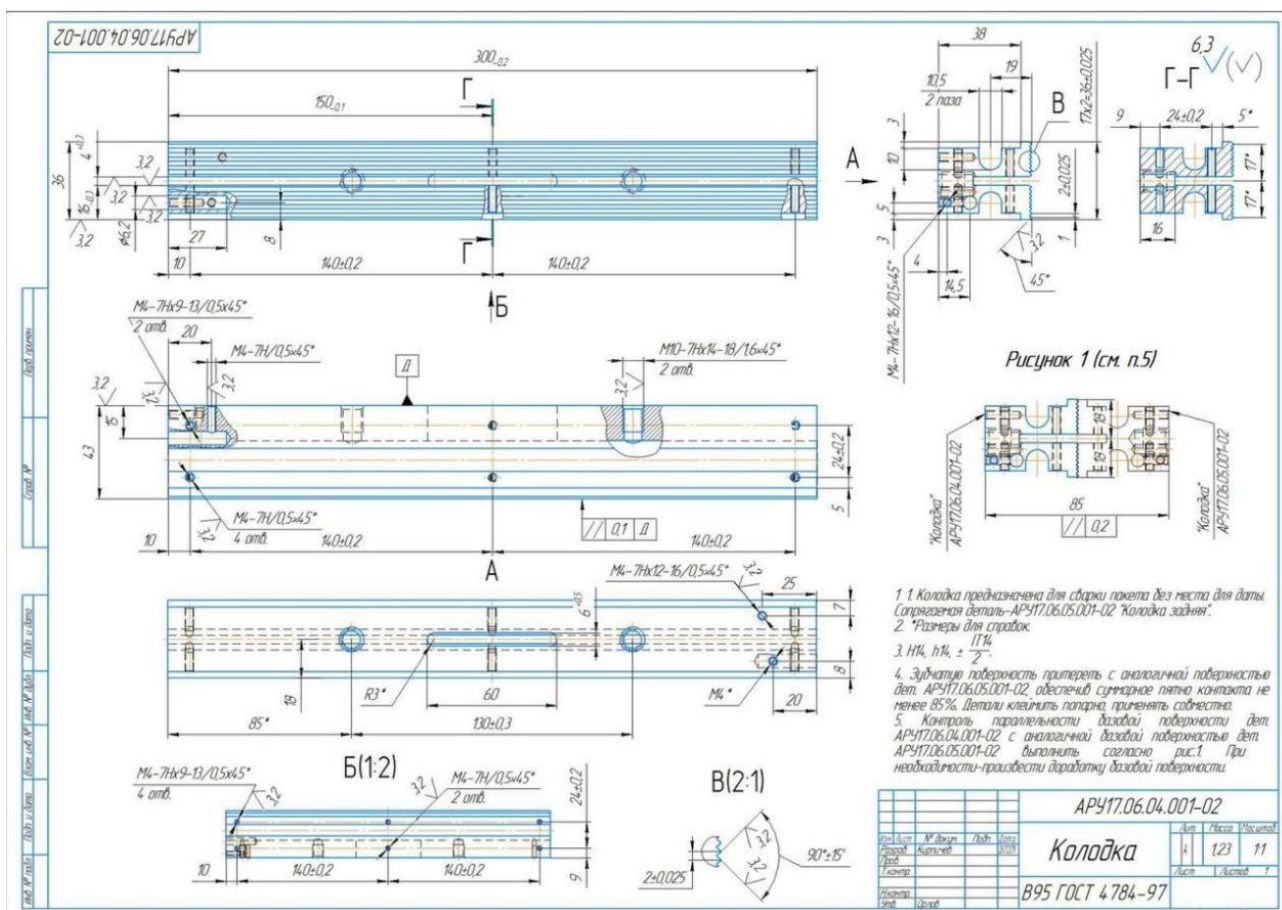


Рис.2.1.4 - Креслення деталі “Колодка”

Водночас, в технічному завданні на проектування підприємства наведено тип обладнання та кількість одиниць, вид операції, що виконується на цьому обладнанні, час оброблення кожного компоненту пакувальної машини.

Найменування ділянки та тип обладнання, що розміщується на цій ділянці:

- заготівельна ділянка - на цій ділянці розміщуються верстати гідроабразивної різки, піскоструминної обробки, відрізний верстат та відрізний верстат з дискової пилою, гідравлічна гільютина, склад матеріалів, проміжні ємності;
- механооброблююча ділянка - включає в себе універсальні токарні верстати в кількості 4 шт, універсальні фрезерні верстати в кількості 3 шт, вертикально - свердлильні верстати в кількості 2 шт, фрезерний верстат з ЧПК - 1 шт, проміжні ємності;
- зварювальна ділянка - організована за рахунок зварювально - збиральних стендів, столів, стапелів тощо. Включає зварювальне обладнання за обраним типом зварювання, вимірювальне обладнання, універсальну та спеціальну оснастку, підйомно - транспортне обладнання, проміжні ємності, верстаки тощо;
- фарбувальна ділянка - являє собою фарбувальну та сушилну камери для порошкового фарбування;
- збиральна ділянка - на цій ділянці розташовуються збиральні столи, верстаки, стелажі, проміжні ємності.
- пакувальна ділянка - включає пакувальні столи, тримачі рулонів, пакувальні візки, склад пакувальних матеріалів тощо.

В рамках виробничого процесу на кожній ділянці виконуються певні операції та маніпуляції з компонентами пакувальної машини. Найменування ділянок, тип та час оброблення деталей, що виконуються на цій ділянці, найменування компоненту, матеріал заготовки наведено нижче:

- заготівельна ділянка - на цій ділянці виконується наступне:
 - для деталі “Стінка” - контурне оброблення на верстаті гідроабразивної різки, матеріал - плита Д16, товщина - 20 мм, час отримання заготовки - $T_{ш} = 12,21$ хв;

- для деталі “Колодка” - контурне оброблення на верстаті гідроабразивної різки, матеріал - плита В95, товщина - 40 мм, час отримання заготовки - $T_{\text{ш}} = 9,10$ хв;
 - для деталі “Штанга” - відрізання прутка на відрізнаму верстаті, матеріал - прутки СТ30, діаметр - $\varnothing 35$ мм, час отримання заготовки - $T_{\text{ш}} = 1,30$ хв;
 - для деталей рами - відрізання на відрізнаму верстаті з дискової пилою, матеріал - профільна труба СТ3, переріз - 60х60 мм, час отримання заготовки - $T_{\text{ш}} = 2,40$ хв, відрізання листового металу на гідравлічній гільйотині, матеріал - лист 12Х17, товщина - 1 мм, час отримання заготовки - $T_{\text{ш}} = 1,21$ хв, очистка на верстаті піскоструминної обробки, матеріал - профільна труба СТ3, переріз - 60х60 мм, час оброблення заготовки - $T_{\text{ш}} = 2,16$ хв.
- механооброблююча дільниця - в рамках дільниці виконуються наступні операції:
- для деталі “Стінка”:
 - 005 Багатоцільова з ЧПК - $T_{\text{ш}} = 14,01$ хв;
 - 010 Багатоцільова з ЧПК - $T_{\text{ш}} = 7,52$ хв;
 - для деталі “Колодка”:
 - 005 Фрезерна - $T_{\text{ш}} = 9,10$ хв;
 - 010 Фрезерна - $T_{\text{ш}} = 1,03$ хв;
 - 015 Фрезерна - $T_{\text{ш}} = 1,03$ хв;
 - 020 Фрезерна - $T_{\text{ш}} = 2,20$ хв;
 - 025 Свердлильна - $T_{\text{ш}} = 0,45$ хв;
 - 030 Свердлильна - $T_{\text{ш}} = 0,23$ хв;
 - 035 Свердлильна - $T_{\text{ш}} = 0,23$ хв;
 - 040 Свердлильна - $T_{\text{ш}} = 0,27$ хв;
 - для деталі “Штанга”:
 - 005 Токарна $T_{\text{ш}} = 6,50$ хв;
 - 010 Токарна $T_{\text{ш}} = 3,50$ хв;

- 015 Токарна $T_{ш} = 4,10$ хв;
- 020 Свердлильна $T_{ш} = 9,22$ хв;
- 025 Фрезерувальна $T_{ш} = 2,17$ хв;
- зварювальна діляниця - на цій ділянці відбувається зварювання рами пакувальної машини АРУК 80, з попередньо нарізаних та оброблених на верстаті піскоструминної обробки, компонентів рами. Час зварювання однієї рами $T_{ш}$ становить 214,20 хв;
- фарбувальна діляниця - в рамках виробничого процесу, на цій ділянці здійснюється фарбування та сушка попередньо звареної рами пакувальної машини. Час на фарбування та сушку однієї рами $T_{ш}$ становить 28,08 хв;
- збиральна діляниця - на цій ділянці здійснюється встановлення, підгонка, вивірка вироблених на підприємстві та імпортованих комплектуючих. Також на цьому етапі відбувається базове тестування готової пакувальної машини для визначення роботоздатності. Час збирання та тестування пакувальної машини $T_{ш}$ становить 168,35 хв;
- пакувальна діляниця - на цій ділянці відбувається пакування готової до відправлення пакувальної машини АРУК 80, використовуючи пакувальні матеріали. Штучний час $T_{ш}$ становить 114,23 хв.

Використовуючи довідкову літературу, призначаємо величини підготовчо - заключного часу для операцій та розраховуємо штучно - калькуляційний час на виконання операції:

- для деталі “Стінка” - контурне оброблення на верстаті гідроабразивної різки, матеріал - плита Д16, товщина - 20 мм, підготовчо - заключний час $T_{пз} = 15,44$ хв [18], штучно - калькуляційний час $T_{шк} = 12,21 + 15,44 = 28,05$ хв;
- для деталі “Колодка” - контурне оброблення на верстаті гідроабразивної різки, матеріал - плита В95, товщина - 40 мм, підготовчо - заключний час $T_{пз} = 17,11$ хв [18], штучно - калькуляційний час $T_{шк} = 9,10 + 17,11 = 26,21$ хв;

- для деталі “Штанга” - відрізання прутка на відрізному верстаті, матеріал - прутки СТ30, діаметр - Ø35 мм, підготовчо - заключний час $T_{пз} = 1,05$ хв [19], штучно - калькуляційний час $T_{шк} = 1,30 + 1,05 = 2,35$ хв;
- для деталей рами - відрізання на відрізному верстаті з дискової пилою, матеріал - профільна труба СТ3, переріз - 60х60 мм, підготовчо - заключний час $T_{пз} = 1,20$ хв [19], штучно - калькуляційний час $T_{шк} = 2,40 + 1,20 = 4$ хв; відрізання листового металу на гідравлічній гільйотині, матеріал - лист 12Х17, товщина - 1 мм, підготовчо - заключний час $T_{пз} = 1$ хв [19], штучно - калькуляційний час $T_{шк} = 1,21 + 1 = 2,21$ хв; очистка на верстаті піскоструминної обробки, матеріал - профільна труба СТ3, переріз - 60х60 мм, підготовчо - заключний час $T_{пз} = 1,08$ хв [20], штучно - калькуляційний час $T_{шк} = 2,16 + 1,08 = 3,24$ хв;
- для деталі “Стінка”:
 - 005 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 55$ хв [21], $T_{шк} = 14,01 + 55 = 69,01$ хв;
 - 010 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 22$ хв [21], $T_{шк} = 7,52 + 22 = 29,52$ хв;
- для деталі “Колодка”:
 - 005 Фрезерна - $T_{пз} = 10,40$ хв [21], $T_{шк} = 9,10 + 10,40 = 19,50$ хв;
 - 010 Фрезерна - $T_{пз} = 10,40$ хв [21], $T_{шк} = 1,03 + 10,40 = 11,43$ хв;
 - 015 Фрезерна - $T_{пз} = 10,40$ хв [21], $T_{шк} = 1,03 + 10,40 = 11,43$ хв;
 - 020 Фрезерна - $T_{пз} = 10,40$ хв [21], $T_{шк} = 2,20 + 10,40 = 12,60$ хв;
 - 025 Свердлильна - $T_{пз} = 12,30$ хв [21], $T_{шк} = 0,45 + 12,30 = 13,15$ хв;
 - 030 Свердлильна - $T_{пз} = 12,30$ хв [21], $T_{шк} = 0,23 + 12,30 = 12,53$ хв;
 - 035 Свердлильна - $T_{пз} = 12,30$ хв [21], $T_{шк} = 0,23 + 12,30 = 12,53$ хв;
 - 040 Свердлильна - $T_{пз} = 12,30$ хв [21], $T_{шк} = 0,27 + 12,30 = 12,57$ хв;
- для деталі “Штанга”:
 - 005 Токарна $T_{пз} = 18,50$ хв [21], $T_{шк} = 6,50 + 18,50 = 25$ хв;
 - 010 Токарна $T_{пз} = 18,50$ хв [21], $T_{шк} = 3,50 + 18,50 = 22$ хв;
 - 015 Токарна $T_{пз} = 18,50$ хв [21], $T_{шк} = 4,10 + 18,50 = 23$ хв;

- 020 Фрезерувальна $T_{пз} = 11,22$ хв [21], $T_{шк} = 2,17 + 11,22 = 13,39$ хв;
- 025 Свердлильна $T_{пз} = 19,53$ хв [21], $T_{шк} = 9,22 + 19,53 = 29,15$ хв;
- зварювання рами пакувальної машини - $T_{пз} = 26,10$ хв [22], $T_{шк} = 214,20 + 26,10 = 240,30$ хв;
- фарбування рами пакувальної машини - $T_{пз} = 13,47$ хв [23], $T_{шк} = 13,08 + 13,47 = 26,55$ хв;
- сушка рами пакувальної машини - $T_{пз} = 14,21$ хв [23], $T_{шк} = 14,21 + 15 = 29,21$ хв;
- збирання пакувальної машини - $T_{пз} = 20,20$ [24], $T_{шк} = 168,35 + 20,20 = 188,55$ хв;
- пакування готової машини - так як відсутні дані про нормування пакувальних операцій, призначаємо підготовчо - заключний час за аналогічним принципом як для зварювальної, фарбувальної та збиральної операції в розмірі 15% від штучного часу. Отже, отримуємо $T_{пз} = 17,13$ хв, штучно - калькуляційний час становить $T_{шк} = 114,23 + 17,13 = 131,36$ хв.

До вихідних даних також можна віднести конструктивну схему каркасу виробничого комплексу (рис.2.1.5), що є орієнтиром для розміщення обладнання згідно вимог [25].

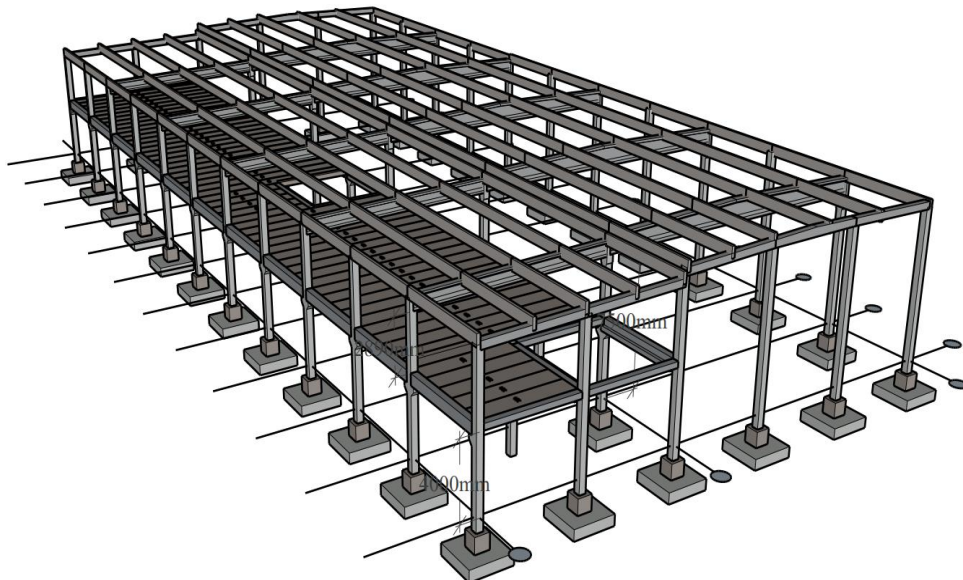


Рис.2.5.2 - Конструктивна схема каркасу виробничого комплексу

2.2 Розроблення візуальної 3D - моделі

Для врахування конструкційних елементів будівлі, таких як колони, перекриття, прогони, проїзди та проходи необхідно створити візуальну модель ділянки для механічної обробки деталей. Водночас, завдяки візуальній моделі визначається внутрішньозаводський маршрут руху кожної заготовки, деталі, компонентів пакувальної машини. Також завдяки візуальній моделі можна вирішити питання ергономіки, розміщення обладнання тощо. Враховуючи технічне завдання на проектування виробничого комплексу та норми розміщення обладнання [25], створюємо 3D - модель механооброблюючої ділянки (рис.2.2.1 - 2.2.3). Загальна площа ділянки 202 м², кількість залучених робітників - 8 осіб. Міжцехове транспортування деталей здійснюється підйомно - транспортним обладнанням. На ділянці крім верстатного обладнання, наявні проміжні ємності для оброблених деталей. В рамках візуальної моделі для дослідження виробничого процесу не враховуються системи електропостачання, системи забезпечення стисненим повітрям тощо.

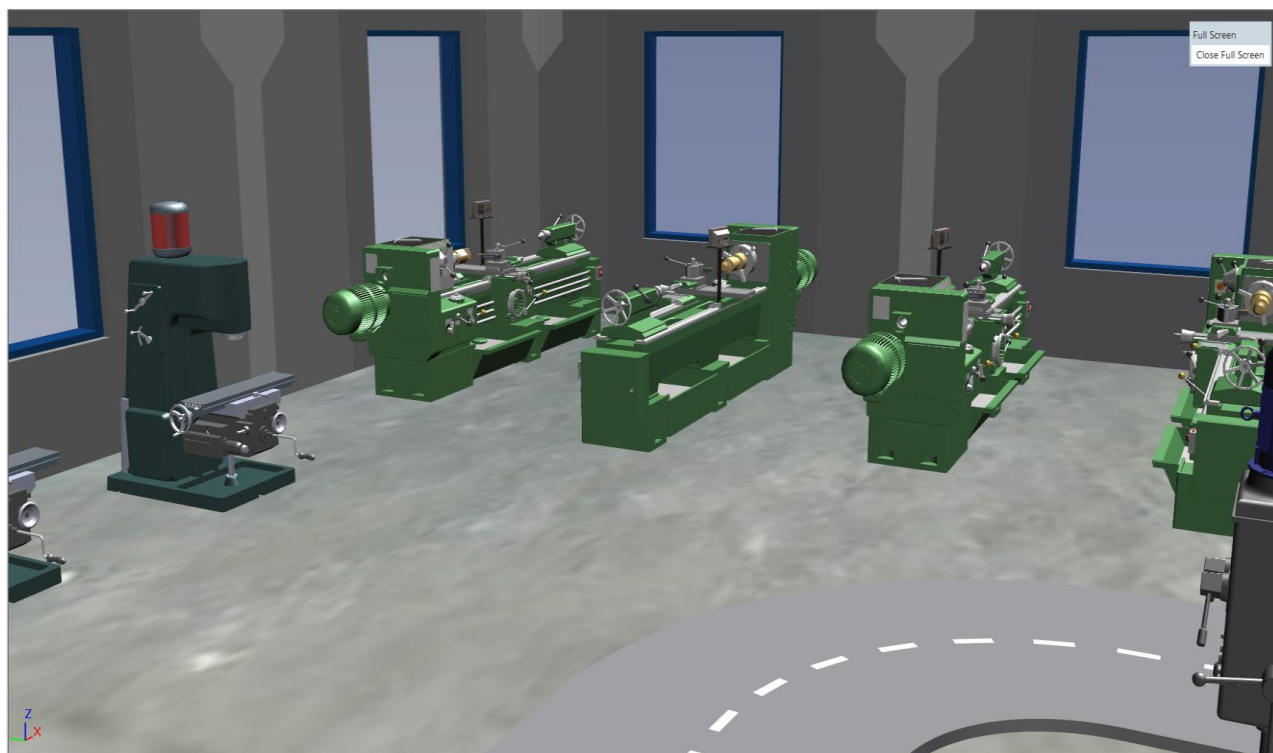


Рис.2.2.1 - 3D - модель механооброблюючої ділянки

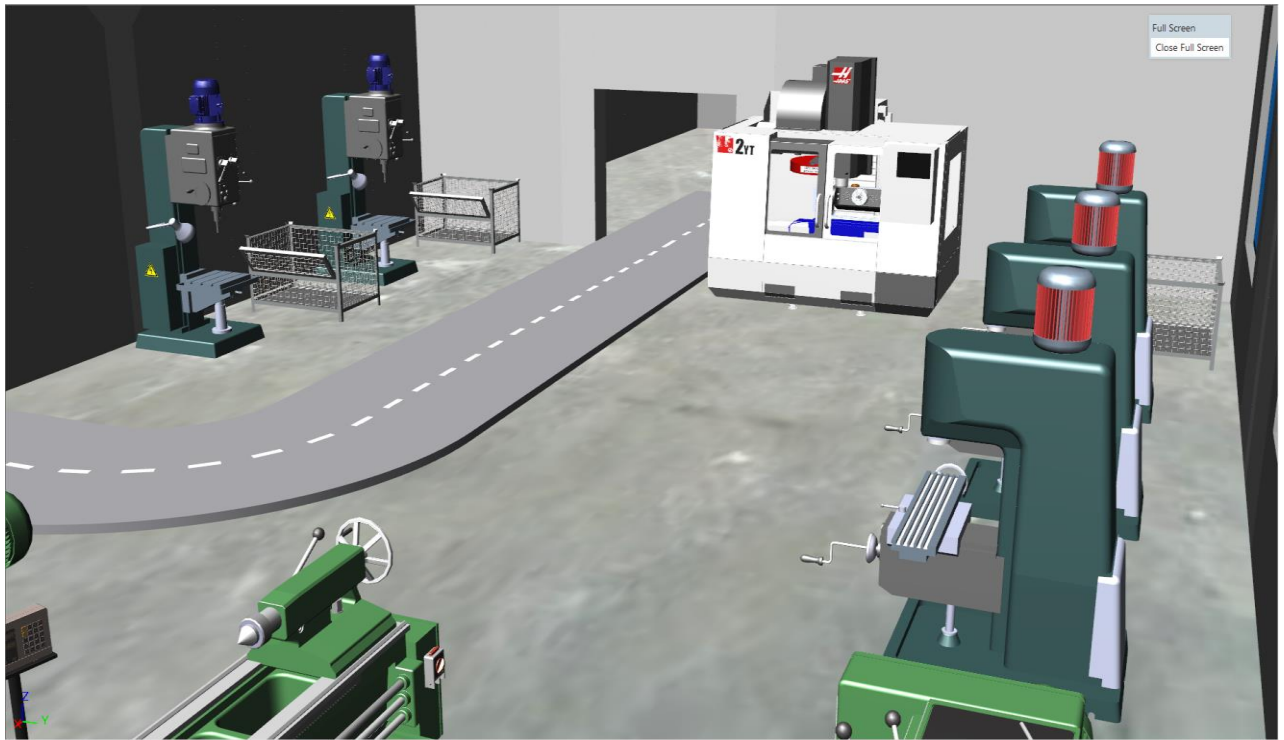


Рис.2.2.2 - 3D - модель механооброблюючої дільниці

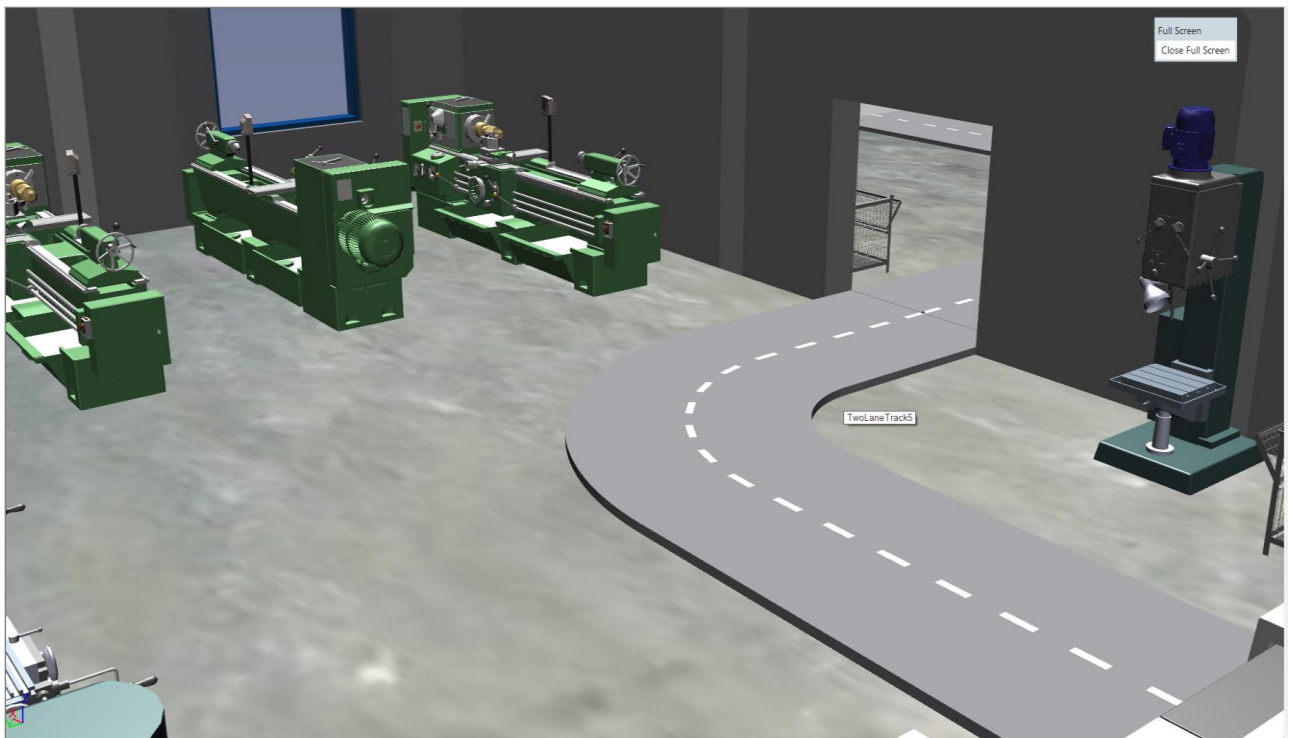


Рис.2.2.3 - 3D - модель механооброблюючої дільниці

Для розуміння алгоритму виробничого процесу, послідовно створюємо 3D - моделі заготівельної (рис.2.2.4 - 2.2.5), зварювальної (рис.2.2.6 - 2.2.7), фарбувальної (2.2.8 - 2.2.9), збиральної (рис.2.2.10 - 2.2.11) та пакувальної дільниць (2.2.12 - 2.2.13).

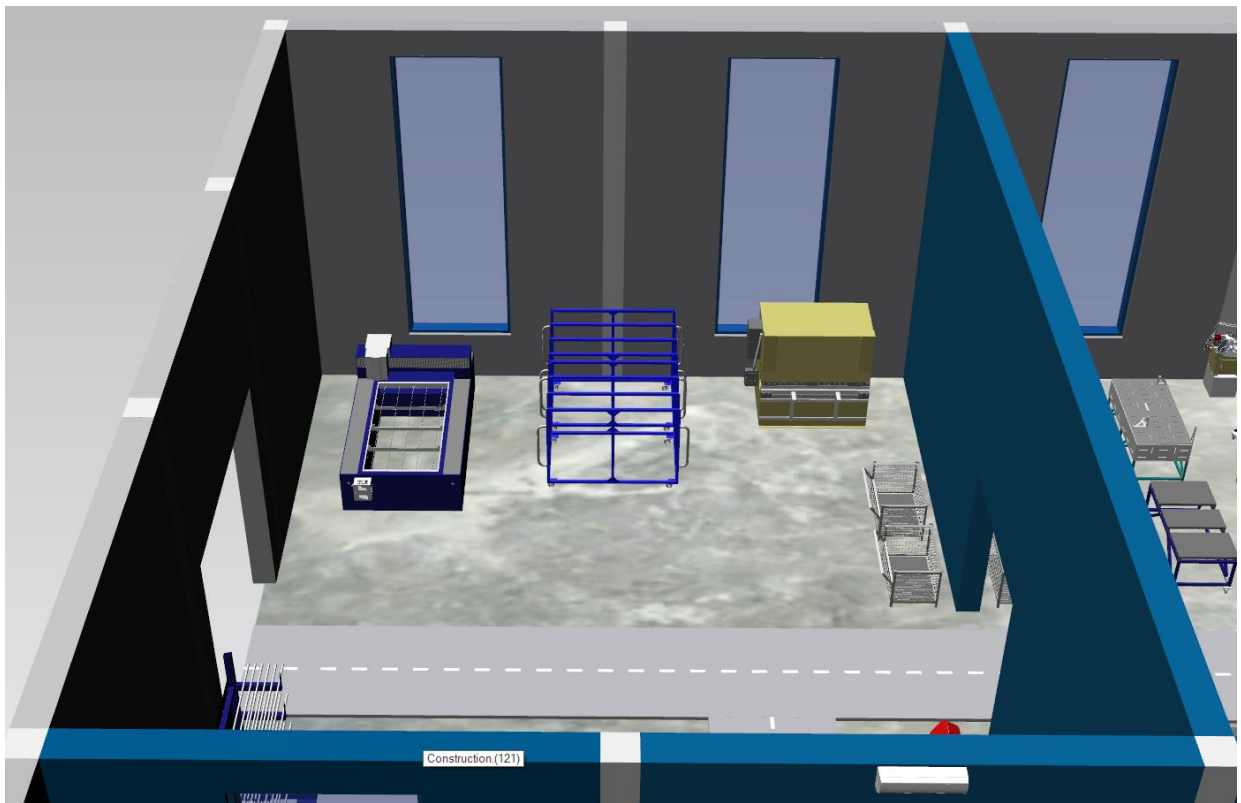


Рис.2.2.4 - 3D - модель заготівельної ділянки

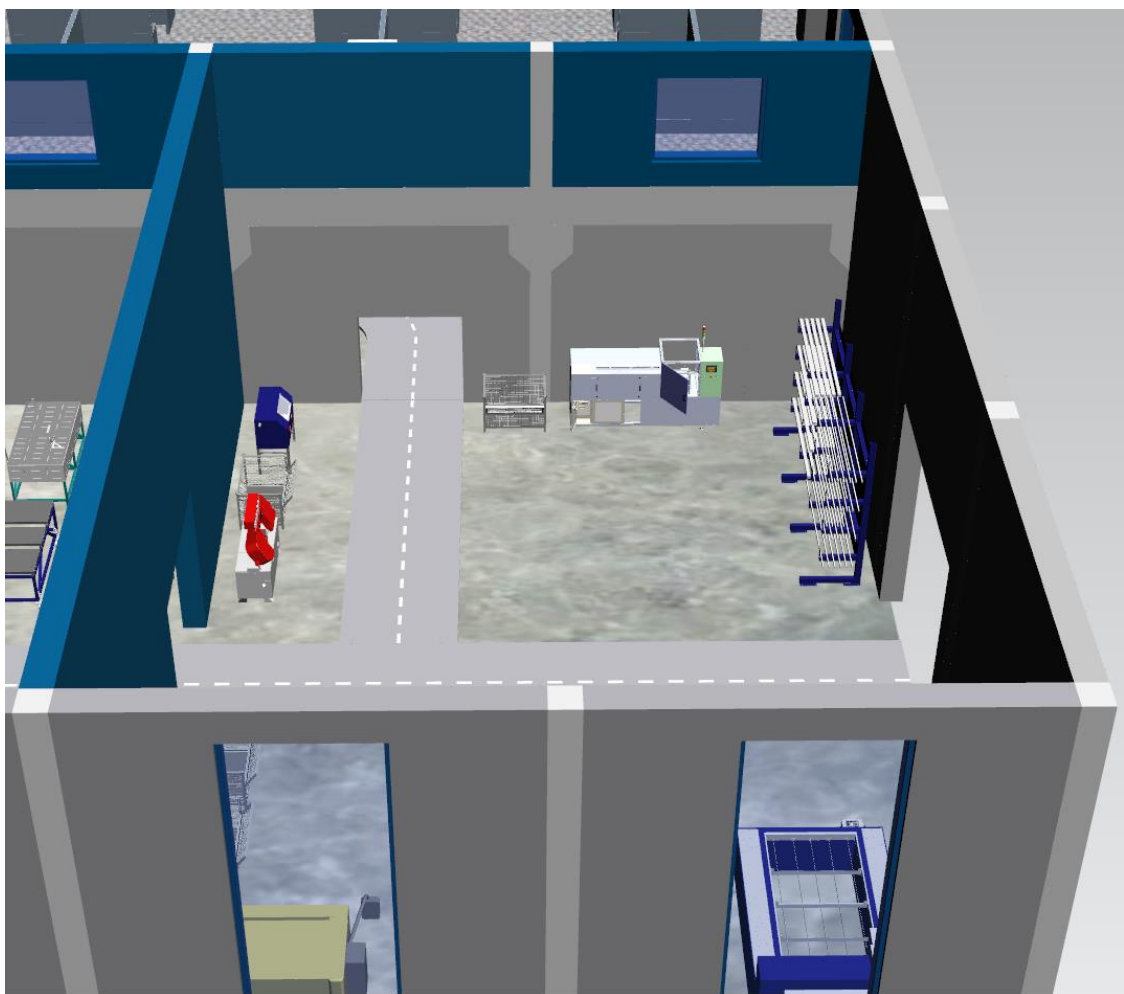


Рис.2.2.5 - 3D - модель заготівельної ділянки



Рис.2.2.6 - 3D - модель зварювальної дільниці

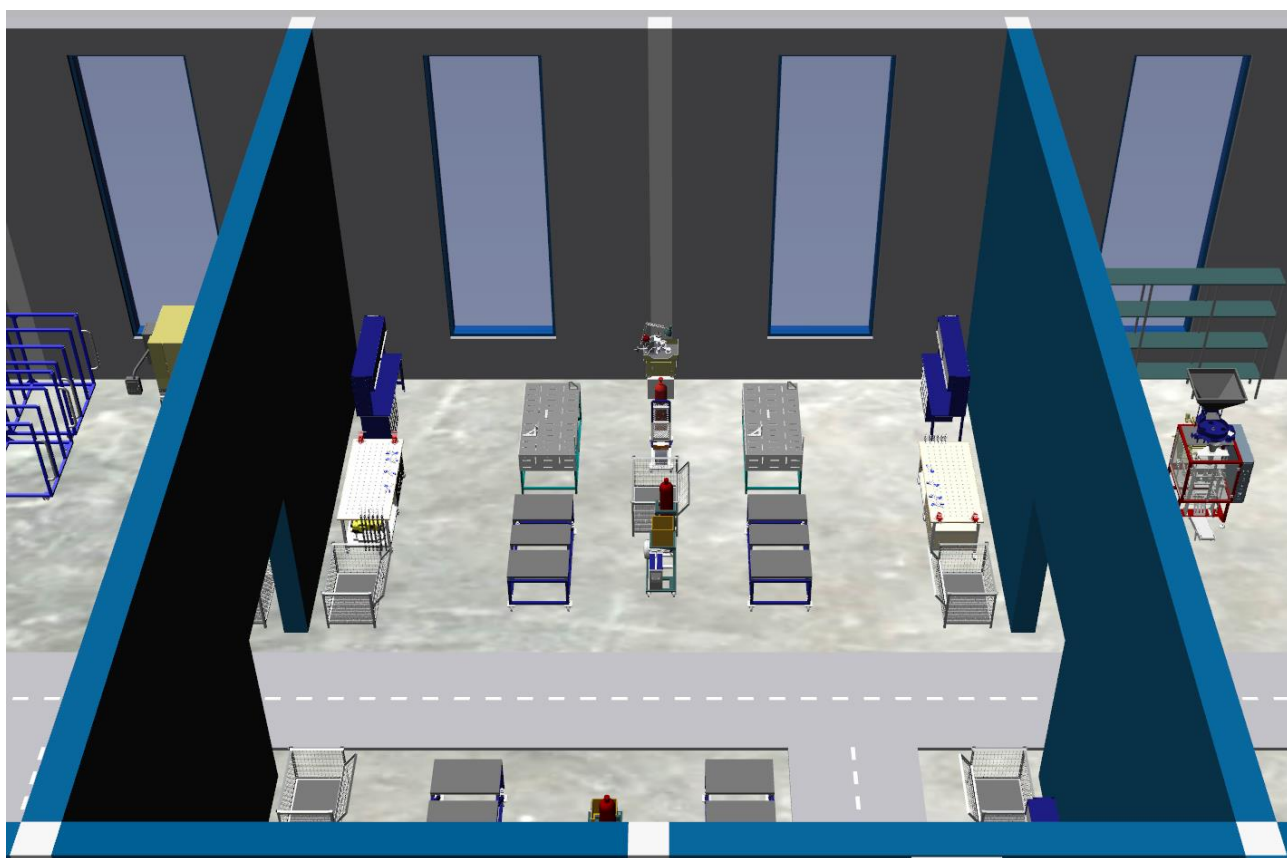


Рис.2.2.7 - 3D - модель зварювальної дільниці

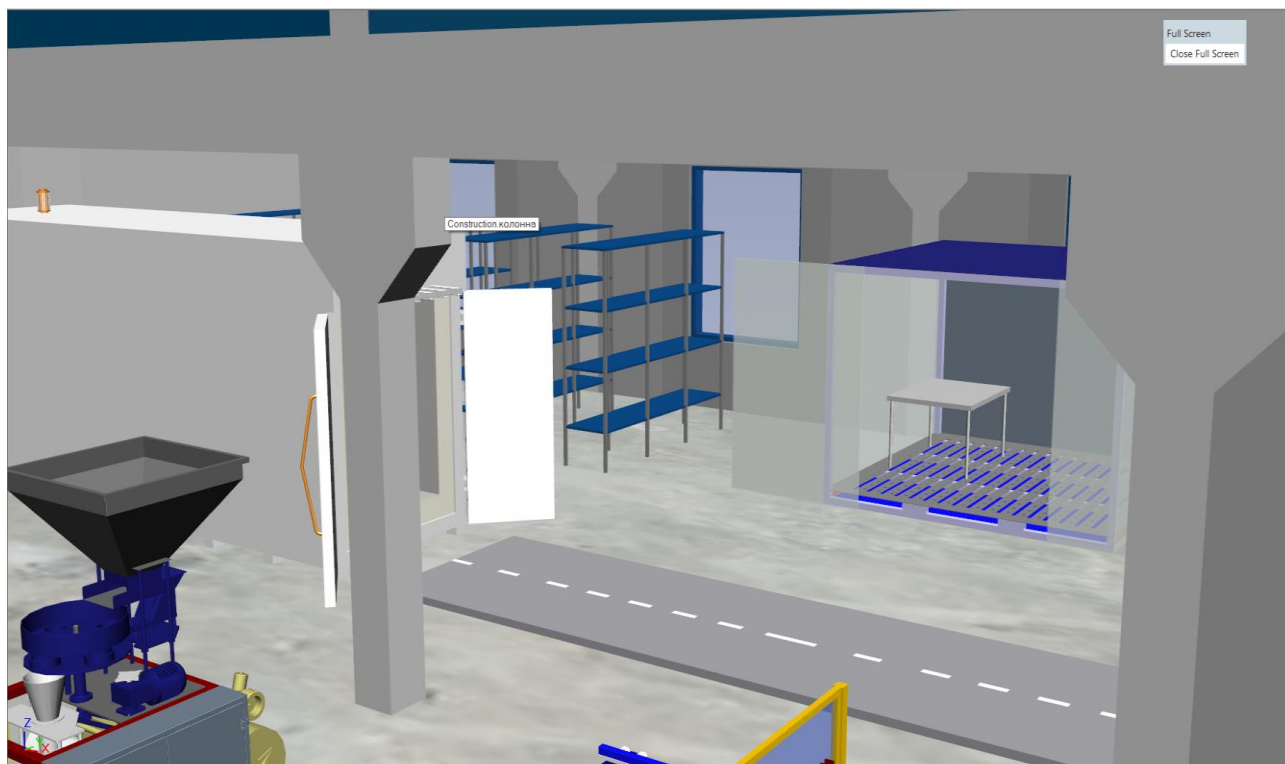


Рис.2.2.8 - Візуальна модель фарбувальної ділянки

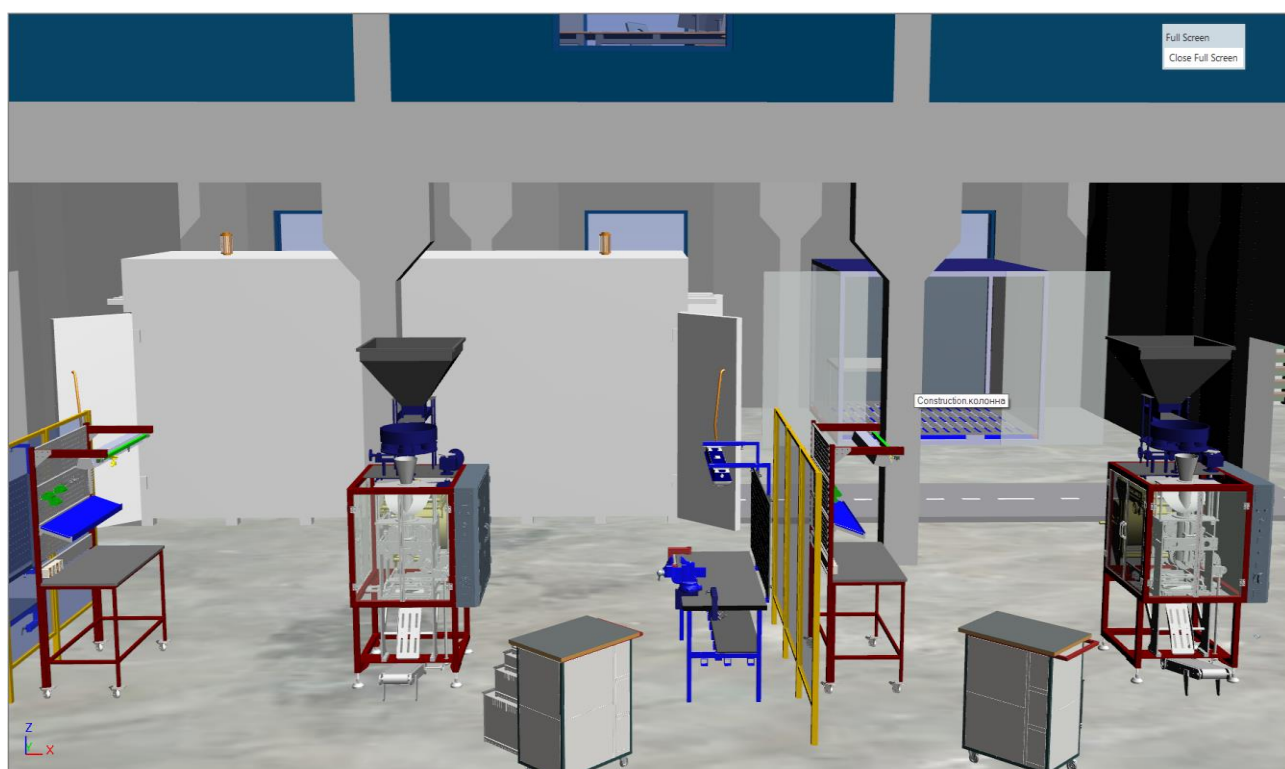


Рис.2.2.9 - Візуальна модель фарбувальної ділянки

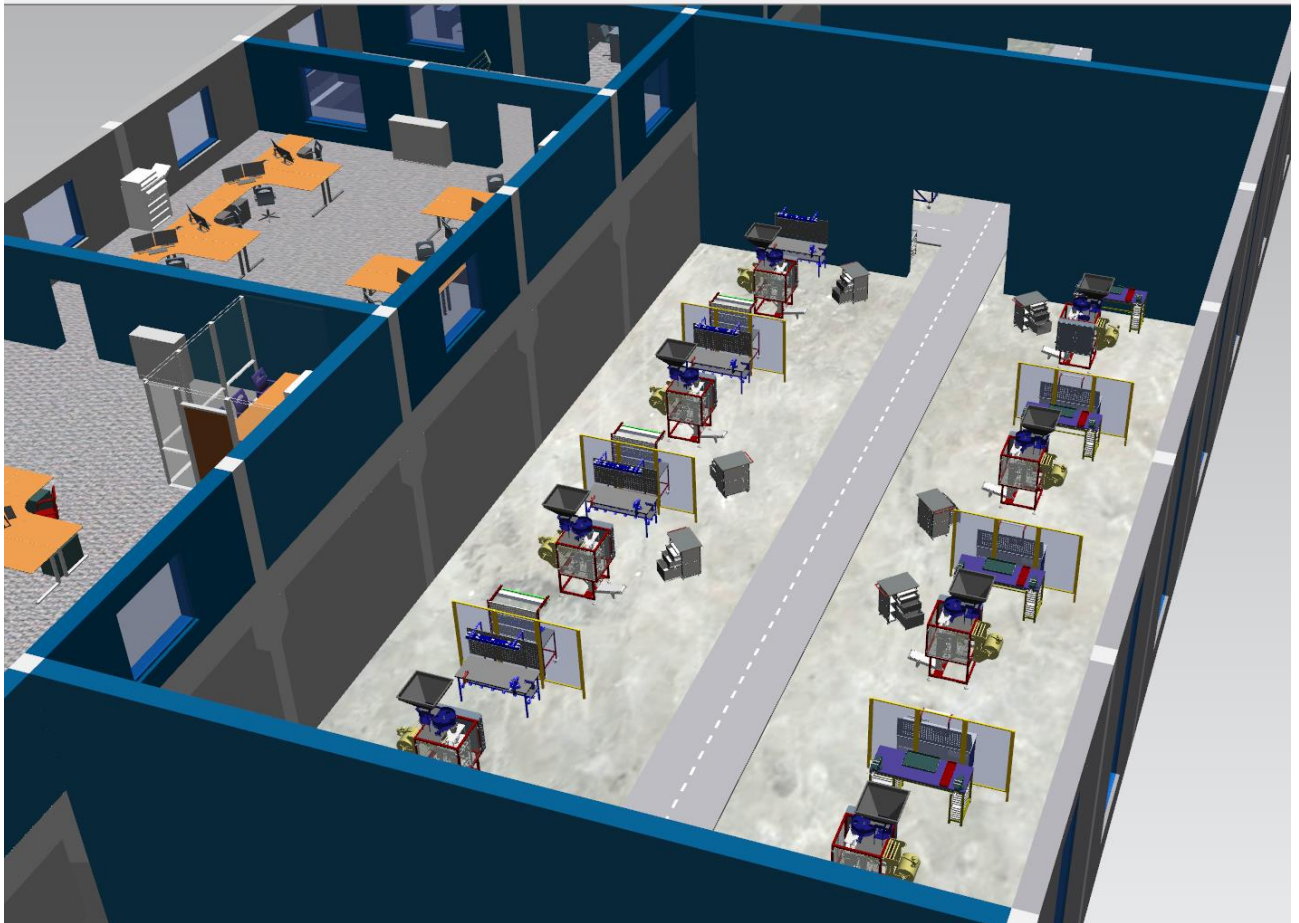


Рис.2.2.10 - Візуальна модель збиральної дільниці



Рис.2.2.11 - Візуальна модель збиральної дільниці

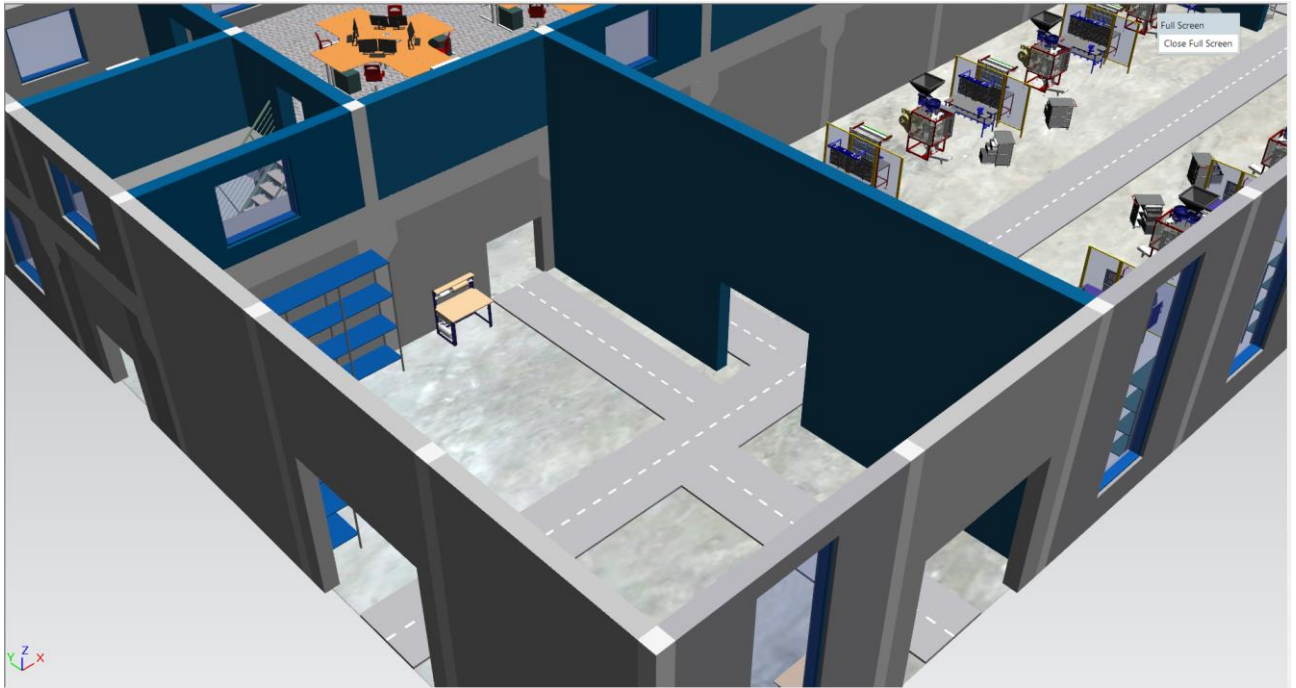


Рис.2.2.12 - 3D - модель пакувальної дільниці

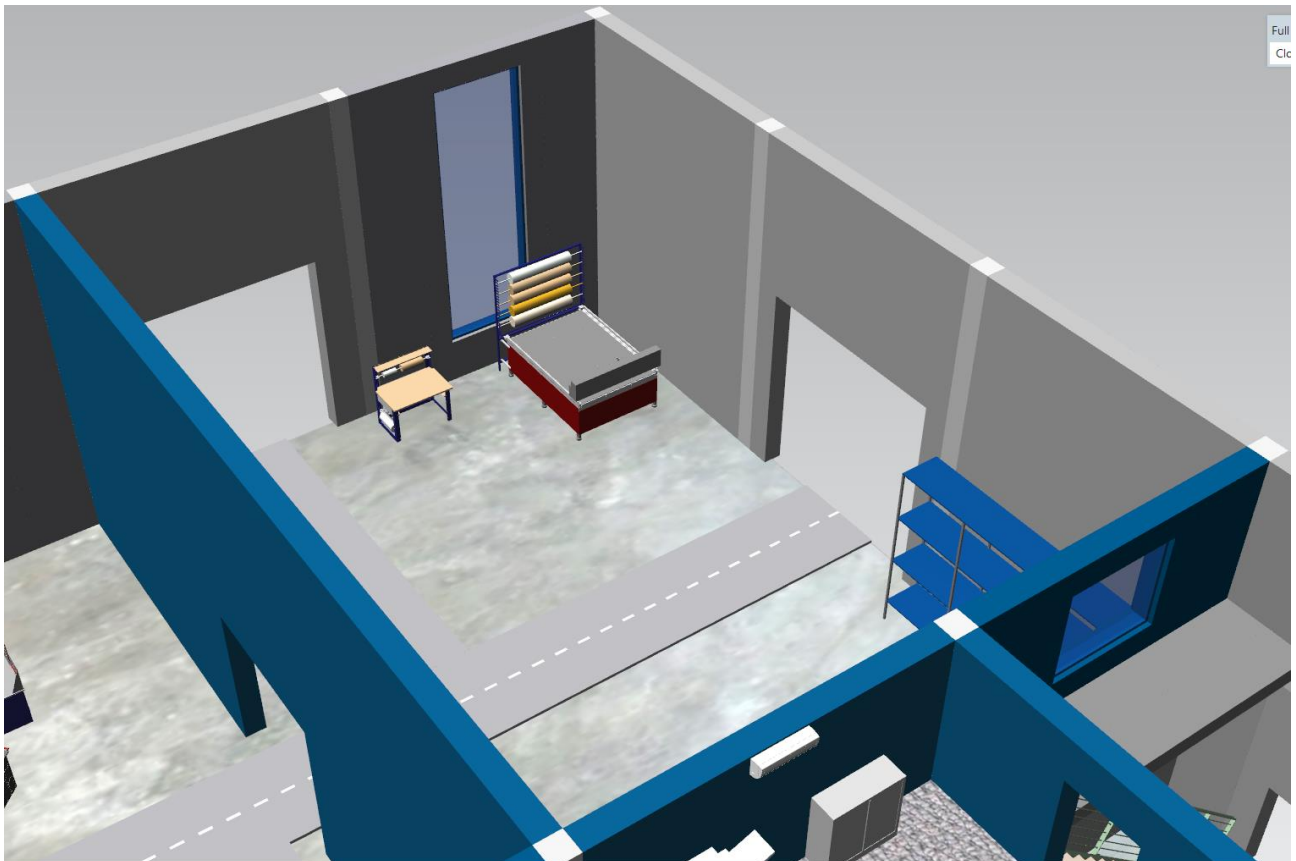


Рис.2.2.13 - 3D - модель пакувальної дільниці

3D - модель виробничого комплексу загалом представлена на рисунках 2.2.14 - 2.2.15. Ця модель включає візуалізацію як виробничих так і невиробничих приміщень.

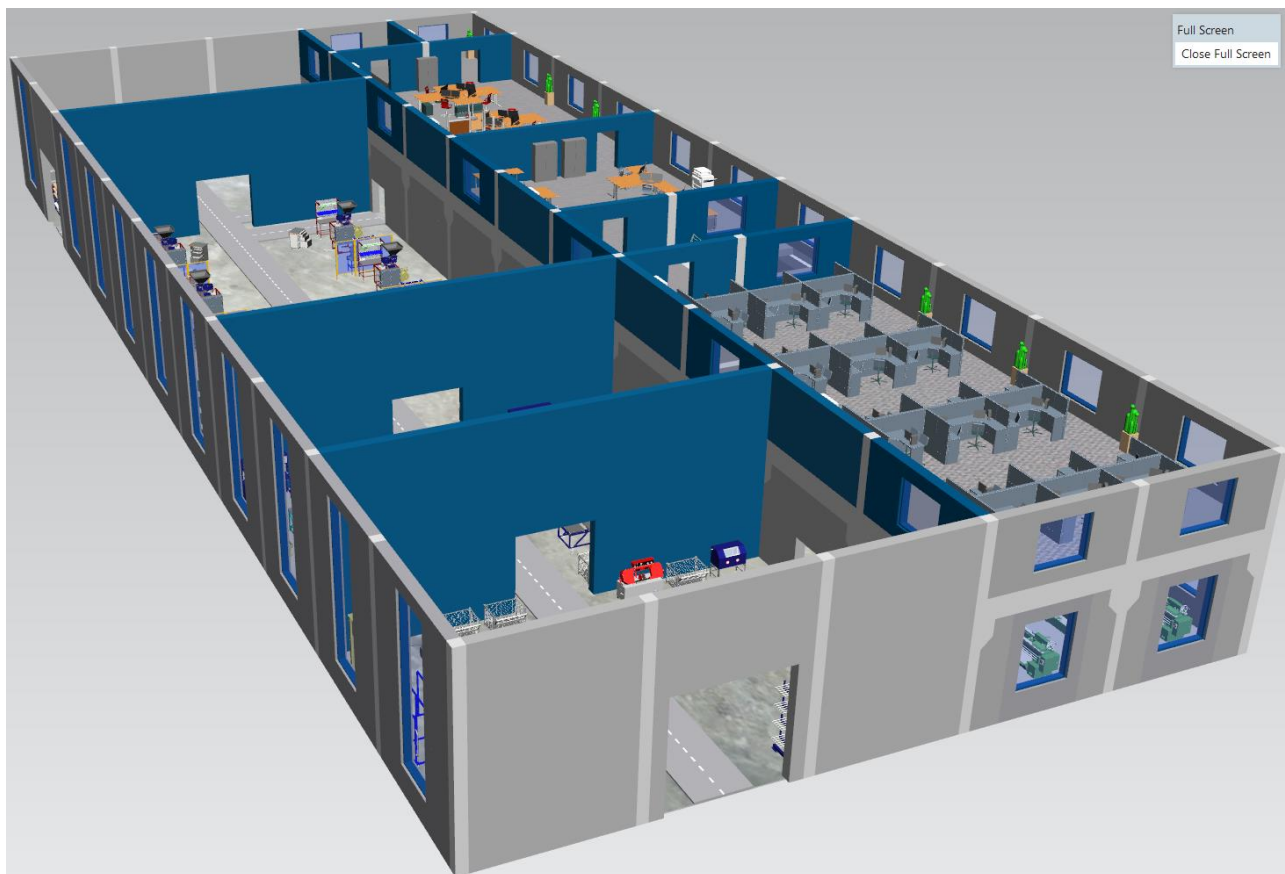


Рис.2.2.14 - 3D - модель виробничого комплексу “Базис”

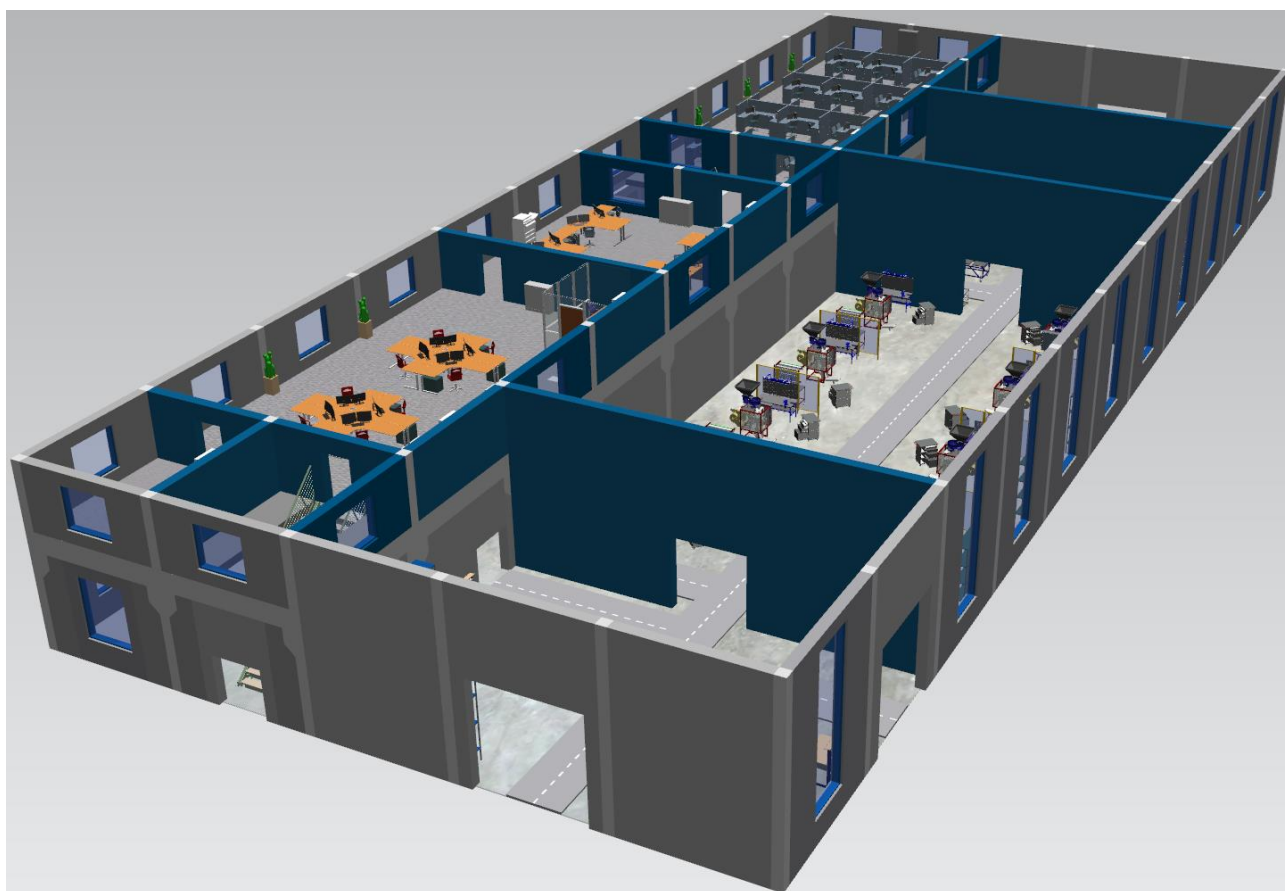


Рис.2.2.15 - 3D - модель виробничого комплексу “Базис”

2.3 Створення імітаційної моделі

Використовуючи об'єкти, класи об'єктів та бібліотеки класів створюємо імітаційну модель дільниці для механічної обробки деталей. Завдяки попередньо створеній 3D - моделі механооброблюючої дільниці та виробничого комплексу, можливо точно розмістити об'єкти, що відповідають реальному верстатному обладнанню. Імітаційну модель дільниці для механічної обробки деталей наведено на рис.2.3.1.

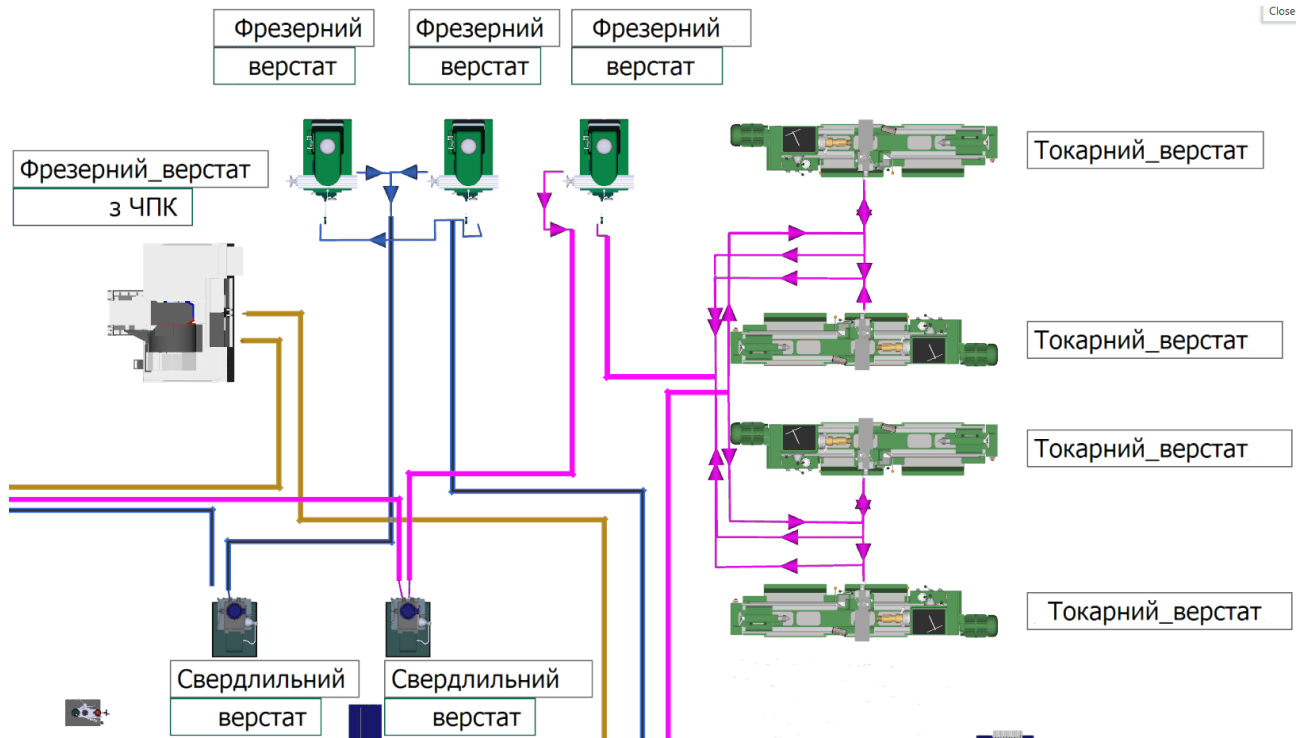


Рис.2.3.1 - Імітаційна модель дільниці для механічної обробки деталей.

(Наступними кольорами позначено матеріалопотоки для кожної з деталей:
синім - для деталі “Колодка”; рожевим - для деталі “Шток”; жовтим - для деталі “Стійка”)

Для створення моделі використовуємо наступні об'єкти:

- *MU* (mobile units) - представляє потік матеріалів. В даному випадку є репрезентацією заготовок та деталей, що оброблюються [26];
- *SingleProc* класу *MaterialFlow* - об'єкт, що отримує деталь, зберігає, обробляє, а потім передає на інший об'єкт. Є репрезентацією верстатного обладнання [26];
- *Connector* класу *MaterialFlow* - встановлює зв'язки між об'єктами [26];

- *EventController* класу *MaterialFlow* - Tecnomatix Plant Simulation є дискретно - подійним засобом моделювання, в якому об'єкти та процеси досліджуються тільки у встановлених часових рамках. Завдяки об'єкту *EventController* встановлюється період моделювання [26];
- *Source* класу *MaterialFlow* - являє собою репрезентацію складу матеріалів, деталей, комплектуючих тощо [26];
- *Drain* класу *MaterialFlow* - є репрезентацією ємності для готових деталей. На цьому об'єкті закінчується виробничий цикл деталі [26];
- *ShiftCalender* класу *Resources* - дозволяє налаштовувати змінність та розпорядок роботи імітаційної моделі [26];
- *DataTable* класу *Information Flow* - є одним з найважливіших об'єктів інформаційного потоку. *DataTable* є сховищем даних, завдяки яким налаштовуються об'єкти моделі, реалізуються алгоритми тощо [26];
- *Display* класу *User Interface* - на дисплеї відображаються запрограмовані значення, такі як кількість оброблених деталей, час обробки тощо під час моделювання [26].

Для виконання статистичних досліджень використовуються наступні об'єкти класу *Statistical Tool* [27]:

- *DataFit* - реалізує можливість дослідження дискретної випадкової величини. Показує множину можливих подій з ймовірностями їхнього настання;
- *Regression* - завдяки цьому об'єкту реалізується регресійний аналіз, тобто визначення кореляційного коефіцієнту Пірсона, коефіцієнту регресії, побудова лінії регресії та кривої регресії, побудова діаграми розсіювання;
- *ANOVA* - використовуючи цей об'єкт можна провести однофакторний та багатофакторний дисперсійний аналіз.

Для проведення імітаційного моделювання, необхідно попередньо налаштувати об'єкти *SingleProc*, *MU*, *EventController*, *ShiftCalender*, *DataTable* тощо. Встановлюємо $T_{ш}$ та $T_{пз}$ на вкладці *Times* меню налаштування об'єктів *SingleProc* (рис.2.3.2).

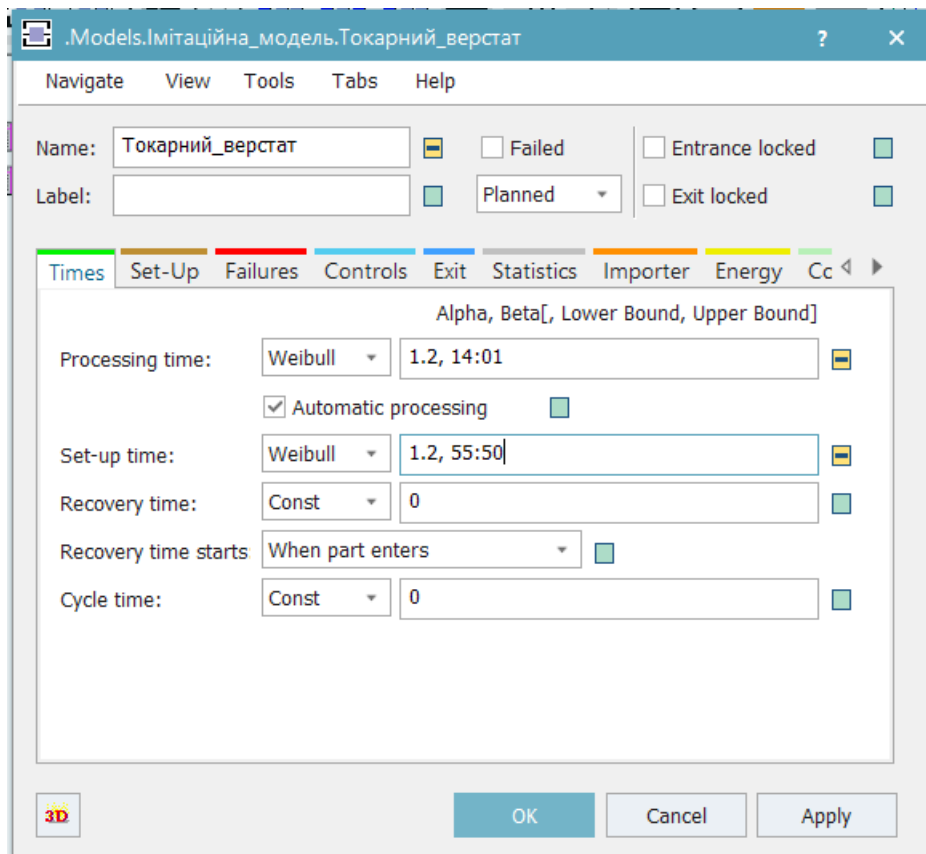


Рис.2.3.2 - Типові налаштування об'єкту *SingleProc*

В якості типу розподілу обрано розподіл Вейбула з коефіцієнтом $\alpha = 1,2$. Коефіцієнт $\alpha > 1$ означає, що інтенсивність відмов обладнання зі збільшенням періоду експлуатації збільшується, що відповідає реальним умовам зношування верстатів з часом. Водночас, важливим є задання показника надійності обладнання (рис.2.3.3). Цей параметр налаштовується на вкладці *Failures*, меню налаштування об'єктів *SingleProc*. Функціонал продукту дозволяє налаштувати відсоткове відношення періоду корисної роботи обладнання (показник *Availability*). Тип розподілу для цього показника є незмінним - розподіл Ерланга. Якщо додатково не вказуються нижня та верхня межі для розподілу Ерланга, програмний продукт автоматично розраховує показник *MTTR* (*Mean Time To Repair*) - середній час ремонту. Ці налаштування є типовими для обладнання, що використовується в рамках виробничого процесу. Відмінності будуть полягати лише в значеннях $T_{ш}$ та $T_{пз}$. Використовуючи об'єкт *EventController*, задаємо часовий проміжок проведення моделювання в один календарний рік (365 днів) (рис.2.3.4).

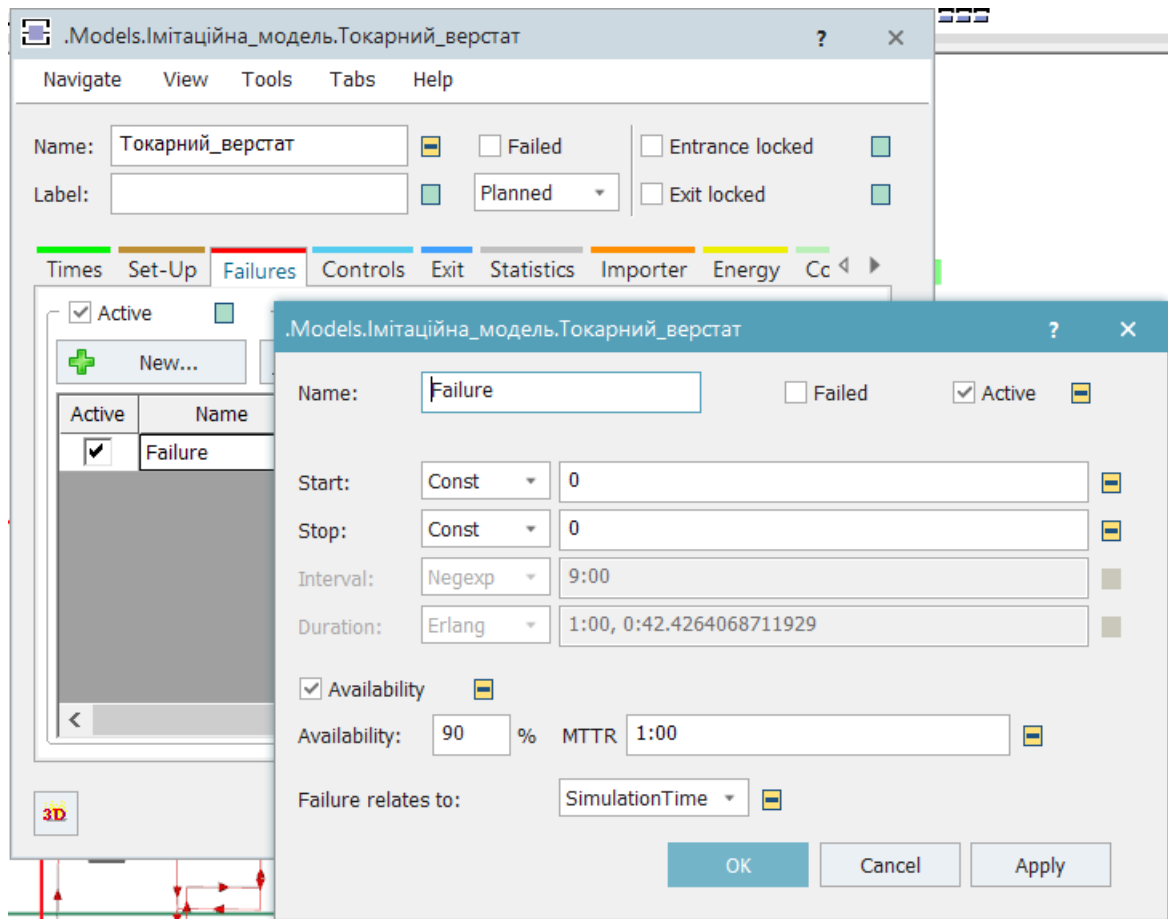


Рис.2.3.3 - Типові налаштування об'єкту *SingleProc*

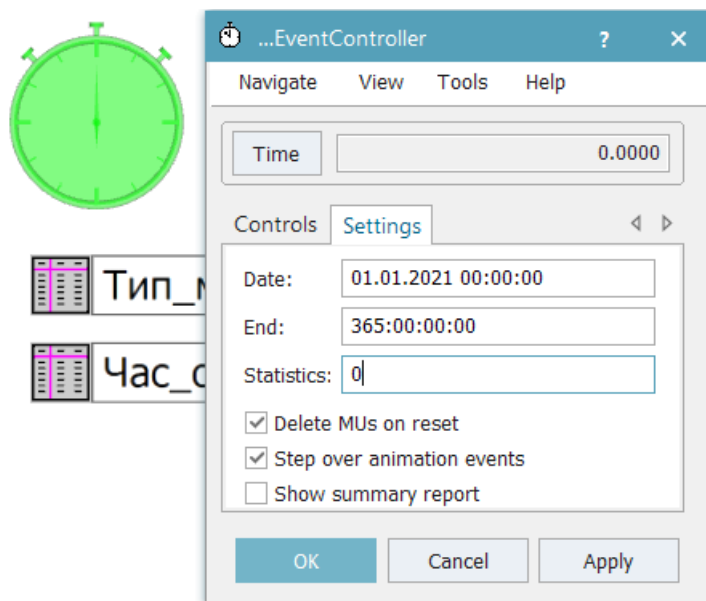


Рис.2.3.4 - Задання тривалості проведення моделювання

Часовий проміжок в 365 днів, означає безперервну роботу дільниці впродовж календарного року, що є нереалістичним. Користуючись об'єктом *ShiftCalender*, задаємо тривалість робочої зміни в 10 годин та розпорядок роботи з 5 - денним робочим тижнем (рис.2.3.5)

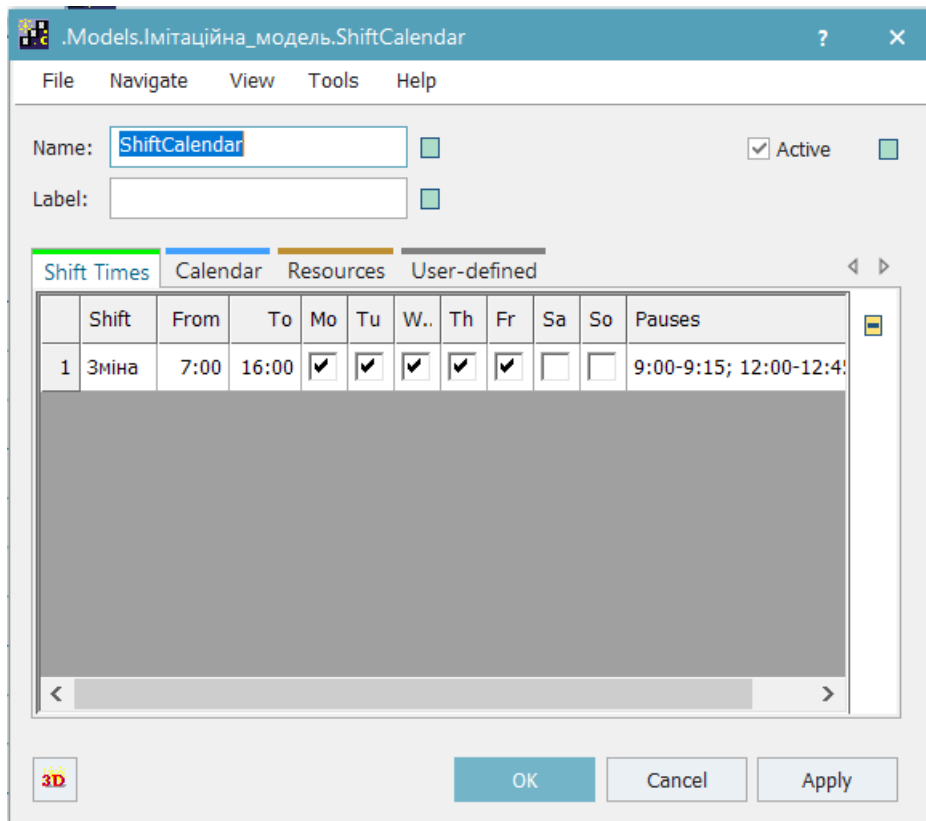


Рис.2.3.5 - Встановлення тривалості зміни та розпорядку роботи

На вкладку *Resources* додаємо все використовуване верстатне обладнання для реалізації змінності роботи (рис.2.3.6).

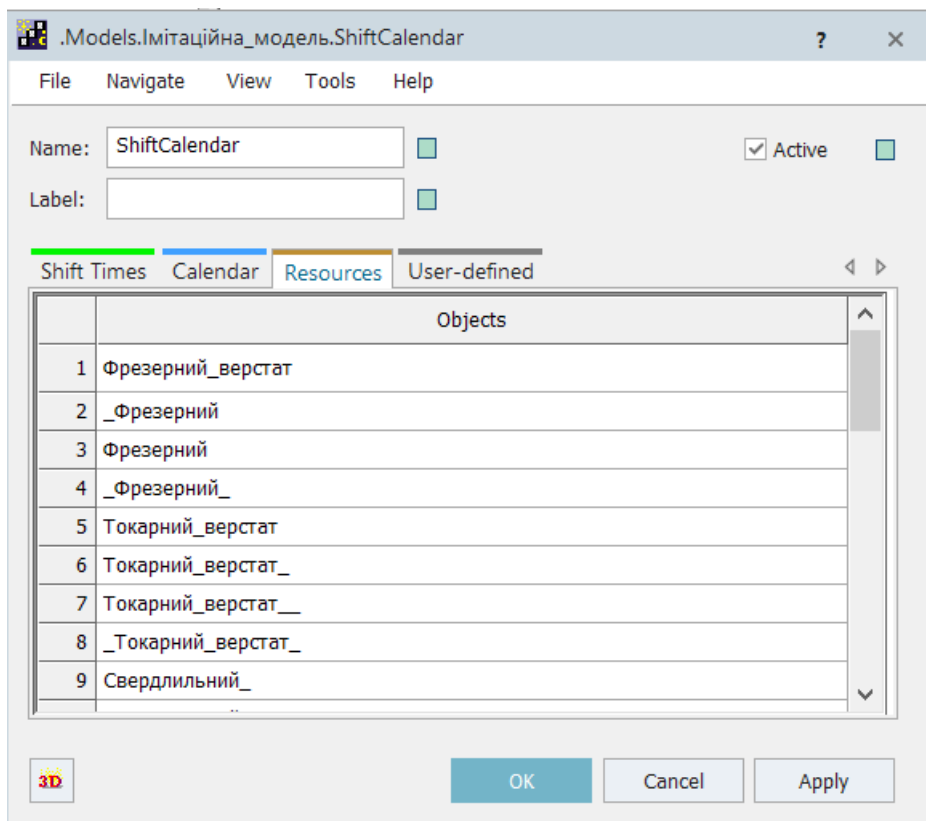


Рис.2.3.6 - Верстатне обладнання, що керується об'єктом *ShiftCalender*

Для спрощення оцінки річного обсягу виробництва деталей механооброблюючою ділянкою, використовуємо об'єкт *Display*. Програмуємо об'єкт *Display* на показник кількості вироблених деталей кожного типу використовуючи атрибут *StatNumOut* (рис.2.3.7).

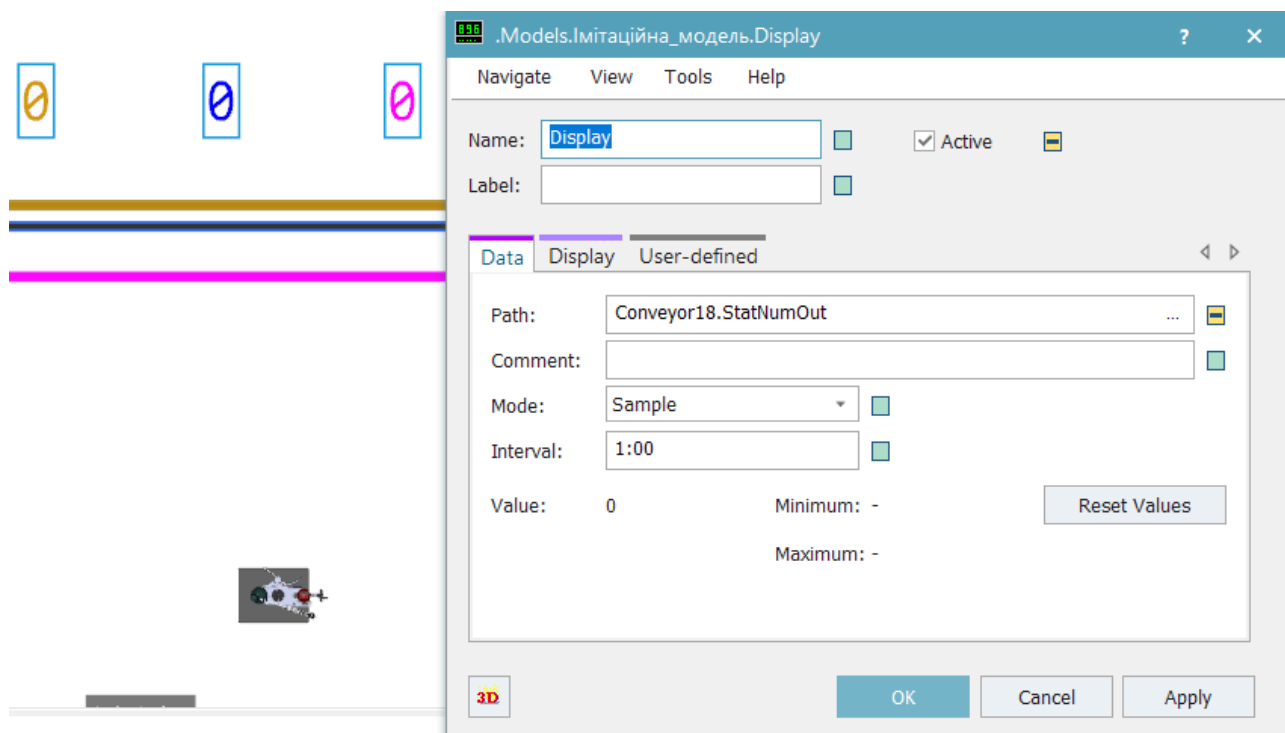


Рис.2.3.7 - Програмування об'єкту *Display*

Для оцінки ефективності виробничого комплексу в цілому створюємо імітаційну модель підприємства (рис.2.3.8).

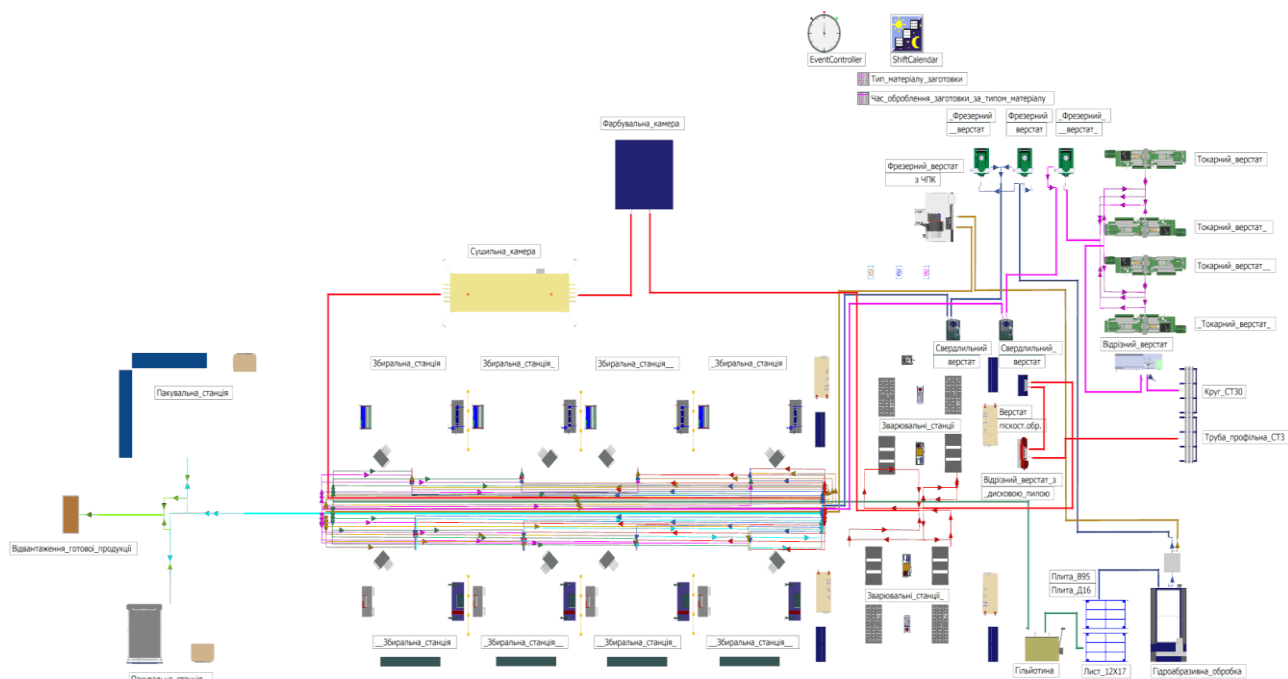


Рис.2.3.8 - Імітаційна модель виробничого комплексу

Для створення імітаційної моделі виробничого комплексу, додатково використано наступні об'єкти:

- *AssemblyStation* класу *Material Flow* - об'єкт, що репрезентує збиральний стенд, станцію, дільницю тощо. *AssemblyStation* відтворює процес додавання компонентів до основної деталі або машини [27];
- *FlowControl* класу *Material Flow* - об'єкт, що використовується створення унікальних стратегій потоків матеріалів, наприклад алгоритм розподілення деталей між різними об'єктами *SingleProc*. *FlowControl* не обробляє та не затримує деталі а лише перерозподіляє потоки згідно налаштувань[26].

Для коректної роботи об'єкти *AssemblyStation* та *FlowControl* необхідно правильно налаштувати. *FlowControl* керує розподіленням заготовок з матеріалу Д16 та В95 за типом верстату на якому вони будуть оброблятися, використовуючи атрибут *Name* (рис.2.3.9).

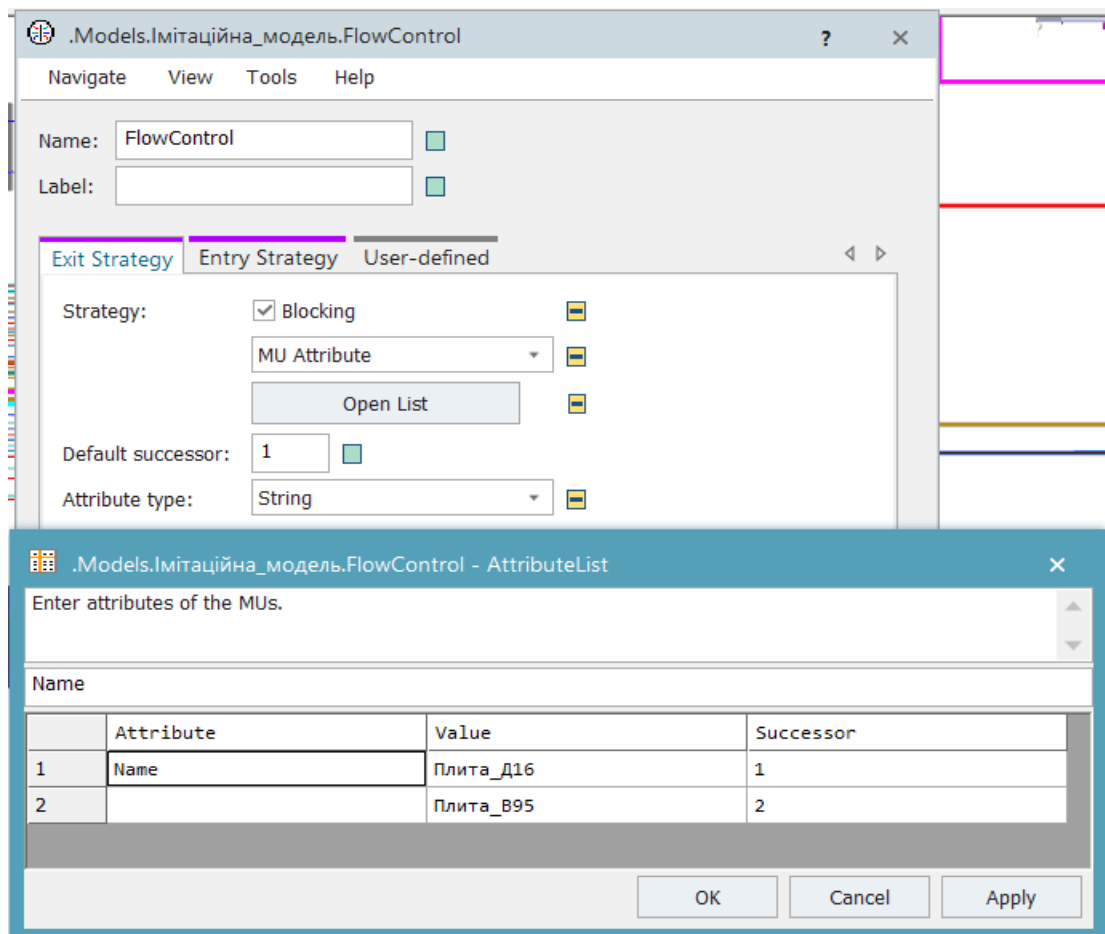


Рис.2.3.9 - Налаштування об'єкту *FlowControl*

Налаштування об'єкту полягає у встановленні кількості компонентів для кожної пакувальної машини та визначення джерел надходження цих компонентів на збиральну станцію (рис.2.3.10).

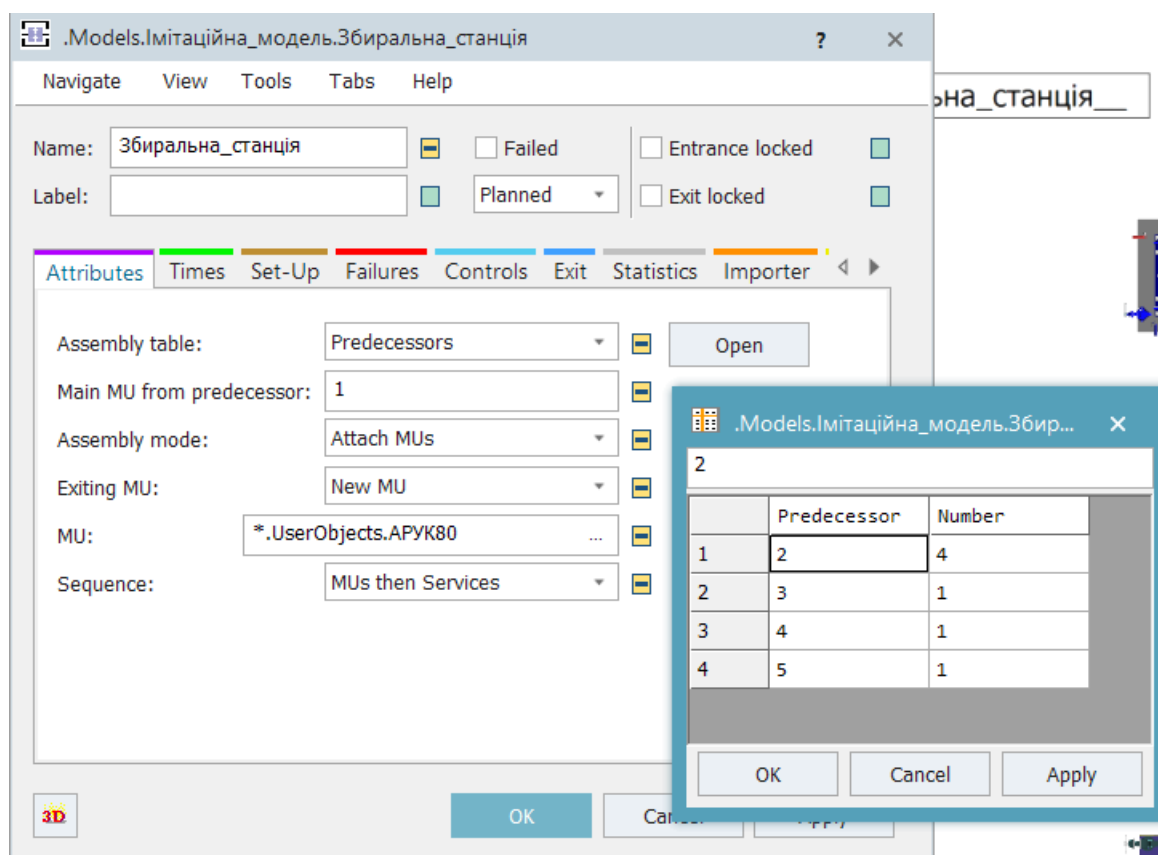


Рис.2.3.10 - Налаштування об'єкту *AssemblyStation*

Для верстату гідроабразивної обробки необхідно налаштувати можливість оброблення заготовок з матеріалів Д16 та В95, що мають різний час $T_{ш}$. Виконується це, використовуючи об'єкт *DataTable*, куди заноситься тип матеріалу заготовки та час оброблення (рис.2.3.11).

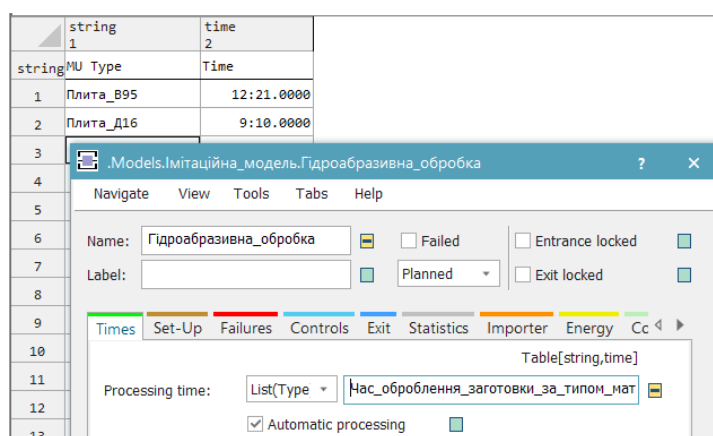


Рис.2.3.11 - Об'єкт *DataTable* з внесеними даними та вікно налаштування об'єкту *SingleProc*

Висновки

У другому розділі магістерської дисертації проаналізовано вихідні дані для створення імітаційної моделі, розроблено технологічний процес оброблення кожної з деталей та аналітичним методом призначено $T_{пз}$. Підготовлено графічні матеріали, такі як 2D - планування виробничого комплексу та 3D - візуальну модель підприємства. На основі графічних матеріалів створено імітаційну модель ділянки для механічної обробки деталей та виробничого комплексу в цілому, описано використані об'єкти та методи створення.

РОЗДІЛ 3

3.1 Оцінка технологічних можливостей вихідної конфігурації дільниці та виробничого комплексу

Закінчивши процес імітаційного моделювання, отримуємо показники ефективності, а саме річний обсяг виробництва, вихідної конфігурації дільниці для механічної обробки деталей (рис.3.1.1).

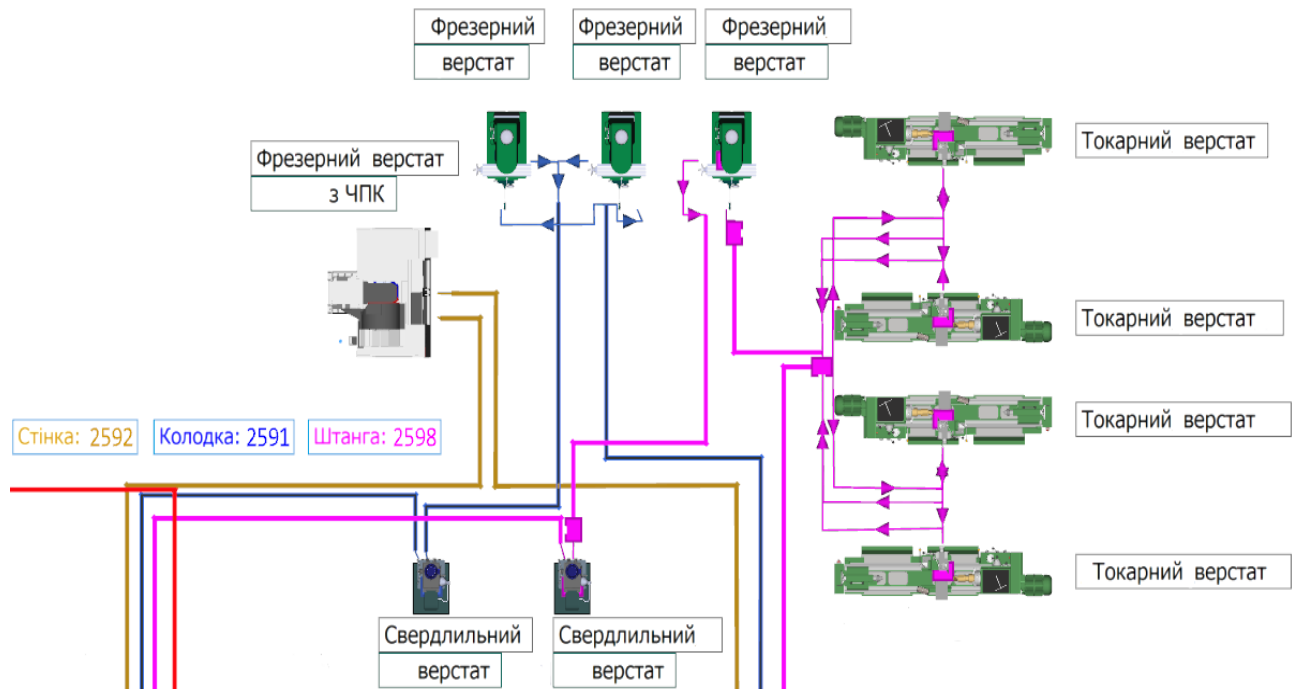


Рис.3.1.1 - Річний обсяг виробництва деталей “Стойка”, “Колодка”, “Штанга”

Отже, механооброблююча дільниця у вихідній конфігурації здатна забезпечити річний обсяг випуску деталей у середньому в 2594 одиниць. Оцінюючи річний обсяг виробництва, можна зробити висновок, що технологічний процес виробництва деталей “Стойка”, “Колодка”, “Штанга” є досить збалансованим, адже обсяг виробництва цих деталей є майже однаковим. Для пошуку шляхів підвищення ефективності, використаємо об’єкт *Chart*, що здатен графічно відображати дані у вигляді графіків. Програмуємо об’єкт *Chart* для графічного відображення розподілення часу роботи кожного верстатного обладнання. Доцільним є оцінка завантаженості верстатного обладнання як дільниці для механічної обробки деталей (рис.3.1.2) так і виробничого комплексу в цілому (рис.3.1.3). Для пошуку так званих “вузьких місць” (bottleneck) виробничого процесу також використаємо об’єкт

BottleneckAnalyzer, що графічно репрезентує інформацію про верстатне обладнання, що більшість часу залишається в стані *blocking* - перевантаження через надлишок деталей з попередніх станцій або ж обмежена продуктивність станцій, що є наступними. Виконаємо аналіз для механооброблюючої ділянки (рис.3.1.4) та виробничого комплексу (рис.3.1.5) в цілому. Корисним інструментом для візуалізації потоку матеріалів є об'єкт *SankeyDiagram*, що будує діаграму Санкі в рамках досліджуваної моделі. Будемо діаграми Санкі для механооброблюючої ділянки (рис.3.1.6) та виробничого комплексу (рис.3.1.7).

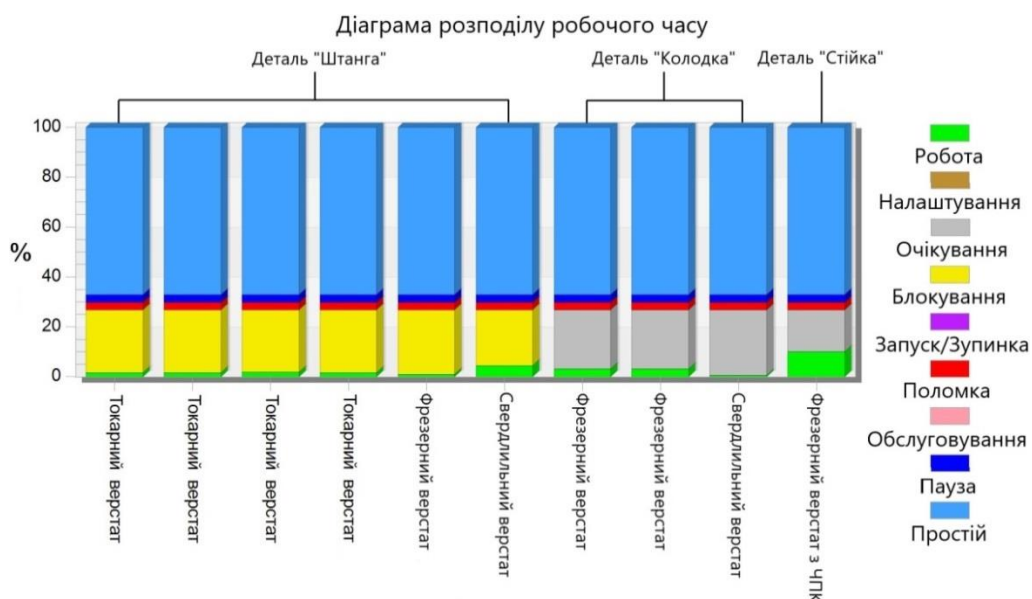


Рис.3.1.2 - Діаграма розподілу робочого часу ділянки для механічної обробки деталей

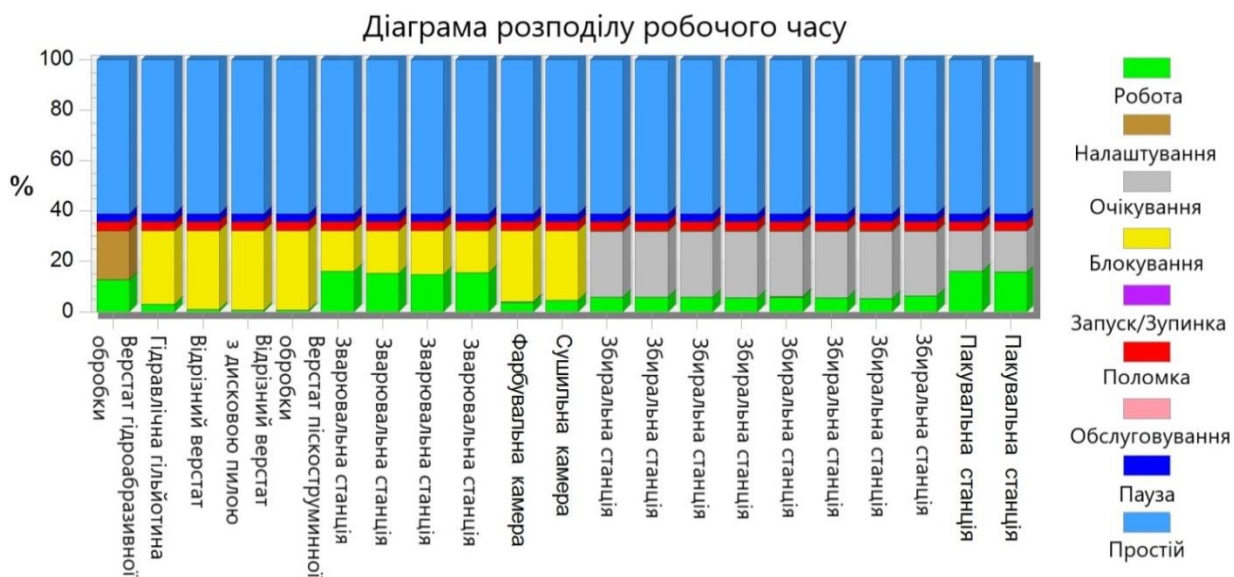


Рис.3.1.3 - Діаграма розподілу робочого часу виробничого комплексу

3.2 Розробка шляхів збільшення річного обсягу виробництва

Аналізуючи діаграму розподілу робочого часу дільниці механічної обробки (рис.3.1.2) можна зробити наступні висновки:

- токарні верстати, що використовуються для оброблення деталі “Штанга” в часовому проміжку величиною 25 % від робочого часу знаходяться в стані блокування;
- фрезерний верстат, що використовується для оброблення деталі “Штанга” в часовому проміжку величиною 25,7 % від робочого часу знаходиться в стані блокування;
- свердлильний верстат, що використовується для оброблення деталі “Штанга” в часовому проміжку величиною 22,3 % від робочого часу знаходиться в стані блокування;
- фрезерні верстати, що використовуються для оброблення деталі “Колодка” в часовому проміжку величиною 23 % від робочого часу знаходяться в очікуванні заготовок з верстату гідроабразивної різки;
- свердлильний верстат, що використовується для оброблення деталі “Колодка” в часовому проміжку величиною 26 % від робочого часу знаходиться в очікуванні деталей з фрезерних верстатів;
- фрезерний верстат з ЧПК, що використовується для оброблення деталі “Стійка” в часовому проміжку величиною 16,7 % від робочого часу знаходиться в стані очікування заготовок з верстату гідроабразивної різки.

Розглядаючи діаграму розподілу робочого часу виробничого комплексу в цілому (рис.3.1.3), можна виявити, що:

- величина часу налаштування верстату гідроабразивної різки, що використовується для отримання заготовок деталей “Стінка” та “Колодка” від загального робочого часу становить 16,2 %;
- відрізний верстат, що використовується для отримання заготовок деталі “Штанга” в часовому проміжку величиною 26 % від робочого часу знаходиться в стані блокування;

- відрізний верстат з дисковою пилою, що використовується для отримання компонентів рам в часовому проміжку величиною 26 % від робочого часу знаходиться в стані блокування;
- верстат піскоструминної обробки компонентів рам, що використовується для оброблення компонентів рам в часовому проміжку величиною 26 % від робочого часу знаходиться в стані блокування;
- фарбувальна та сушильна камери в часовому проміжку величиною 23 % від робочого часу знаходяться в стані блокування;
- зварювальні станції в часовому проміжку величиною 14 % від робочого часу знаходяться в стані блокування.

Загалом, існує певного роду несиметричність виробничого процесу пакувальної машини АРУК 80 - дільниці, що виготовляють компоненти пакувальної машини в цілому знаходяться в стані блокування, а дільниці, на яких виконується збирання та пакування готових одиниць продукції в стані очікування.

Отже, необхідно впровадити наступні кроки для підвищення ефективності дільниці для механічної обробки деталей, а саме збільшення річного обсягу виробництва деталей:

- замінити гідравлічну гільйотину на верстат гідроабразивної обробки на заготівельній дільниці та скомпонувати виробничий процес таким чином, щоб оброблення заготовок деталі “Стійка” виконувалось на одному верстаті, а оброблення заготовок для деталі “Колодка” та відрізання компонентів пакувальної машини з матеріалу 12X17 на іншому;
- замінити два універсальних вертикально - фрезерних верстати на один фрезерний верстат з ЧПК. Це рішення тягне за собою зміну технологічного процесу виготовлення деталі “Колодка”. Водночас, через зміну типу обладнання зміняться значення показників $T_{ш}$ та $T_{пз}$ та штучно - калькуляційного часу $T_{шк}$. Новий технологічний процес матиме наступний вигляд:

- 005 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 55$ хв; $T_{ш} = 12,53$ хв; $T_{шк} = 1,07,53$ год;
 - 010 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 18$ хв; $T_{ш} = 14,22$ хв; $T_{шк} = 32,22$ хв;
 - 015 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 18$ хв; $T_{ш} = 5,40$ хв; $T_{шк} = 23,40$ хв;
 - 020 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 18$ хв; $T_{ш} = 14,22$ хв; $T_{шк} = 32,22$ хв;
 - 025 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 18$ хв; $T_{ш} = 2,38$ хв; $T_{шк} = 20,38$ хв;
 - 030 Багатоцільова з ЧПК - $T_{пз} = 3,50$ хв; $T_{ш} = 2,38$ хв; $T_{шк} = 6,28$ хв;
- розподілити технологічний процес таким чином, щоб свердлильні операції для деталі “Штанга” виконувалися паралельно на двох свердлильних верстатах;
- додати проміжні ємності перед вертикально - фрезерним верстатом, токарними та свердлильними верстатами, що використовуються для оброблення деталі “Штанга” та фрезерними верстатом з ЧПК, що використовується для оброблення деталі “Стійка”. Водночас, необхідно також додати проміжну ємність після свердлильних верстатів задля усунення блокування слідувачих за ними станцій.

Для визначення доцільної ємності проміжних контейнерів, використаємо об’єкт *ExperimentManager*. Запрограмуємо об’єкт *ExperimentManager* для проведення експерименту, з врахуванням вихідних (рис.3.2.1) та вхідних показників (рис.3.2.1).

Output values (Results of the simulation study)

Target value	evaluated by	Technical Notation	High Values are Better
Річний обсяг деталі “Стійка”	Tab	root.Conveyor18.StatNumOut	
Річний обсяг деталі “Колодка”	Tab	root.Conveyor19.StatNumOut	
Річний обсяг деталі “Штанга”	Tab	root.Conveyor20.StatNumOut	

Рис.3.2.1 - Вихідні показники експерименту

Input values (Model parameters)

Input values	set by	Original Value	Inherited	Technical Notation
Проміжна ємність перед токарними верстатами	Tab			root.Buffer122.Capacity
Проміжна ємність перед вертикально - фрезерним верстатом	Tab			root.Buffer11.Capacity
Проміжна ємність перед фрезерним верстатом з ЧПК	Tab			root.Buffer1.Capacity
Проміжна ємність перед свердлильними верстатами	Tab			root.Buffer12.Capacity
Проміжна ємність після свердлильних верстатів	Tab			root.Buffer121.Capacity

Рис.3.2.2 - Вхідні показники експерименту

Розглянувши результати проведення експерименту (рис.3.2.3), робимо висновок, що ємність проміжних контейнерів не має сильного впливу на річний обсяг виробництва компонентів пакувальної машини, отже залишаємо значення ємності за замовчуванням на рівні 8 одиниць.

	Проміжна ємність перед токарними верстатами	Проміжна ємність перед вертикально - фрезерним верстатом	Проміжна ємність перед фрезерним верстатом з ЧПК	Проміжна ємність перед свердильними верстатами	Проміжна ємність після свердильних верстатів	Річний обсяг деталі "Стіяка"	Річний обсяг деталі "Колодка"	Річний обсяг деталі "Штанга"
Екр 01	5	5	5	5	5	2832.4	2824	2832.4
Екр 02	10	10	10	10	10	2832.4	2824	2832.4
Екр 03	15	15	15	15	15	2832.4	2824	2832.4
Екр 04	20	20	20	20	20	2832.4	2824	2832.4
Екр 05	25	25	25	25	25	2832.4	2824	2832.4
Екр 06	30	30	30	30	30	2832.4	2824	2832.4
Екр 07	35	35	35	35	35	2832.4	2824	2832.4
Екр 08	40	40	40	40	40	2832.4	2824	2832.4
Екр 09	45	45	45	45	45	2832.4	2824	2832.4
Екр 10	50	50	50	50	50	2832.4	2824	2832.4
Екр 11	55	55	55	55	55	2832.4	2824	2832.4
Екр 12	60	60	60	60	60	2832.4	2824	2832.4
Екр 13	65	65	65	65	65	2832.4	2824	2832.4
Екр 14	70	70	70	70	70	2832.4	2824	2832.4
Екр 15	75	75	75	75	75	2832.4	2824	2832.4
Екр 16	80	80	80	80	80	2832.4	2824	2832.4
Екр 17	85	85	85	85	85	2832.4	2824	2832.4
Екр 18	90	90	90	90	90	2832.4	2824	2832.4
Екр 20	100	100	100	100	100	2832.4	2824	2832.4
Екр 21	105	105	105	105	105	2832.4	2824	2832.4
Екр 22	110	110	110	110	110	2832.4	2824	2832.4
Екр 23	115	115	115	115	115	2832.4	2824	2832.4
Екр 24	120	120	120	120	120	2832.4	2824	2832.4
Екр 25	125	125	125	125	125	2832.4	2824	2832.4
Екр 26	130	130	130	130	130	2832.4	2824	2832.4
Екр 27	135	135	135	135	135	2832.4	2824	2832.4
Екр 28	140	140	140	140	140	2832.4	2824	2832.4
Екр 29	145	145	145	145	145	2832.4	2824	2832.4
Екр 30	150	150	150	150	150	2832.4	2824	2832.4
Екр 31	155	155	155	155	155	2832.4	2824	2832.4
Екр 32	160	160	160	160	160	2832.4	2824	2832.4
Екр 33	165	165	165	165	165	2832.4	2824	2832.4
Екр 34	170	170	170	170	170	2832.4	2824	2832.4
Екр 35	175	175	175	175	175	2832.4	2824	2832.4
Екр 36	180	180	180	180	180	2832.4	2824	2832.4
Екр 37	185	185	185	185	185	2832.4	2824	2832.4
Екр 38	190	190	190	190	190	2832.4	2824	2832.4
Екр 39	195	195	195	195	195	2832.4	2824	2832.4
Екр 40	200	200	200	200	200	2832.4	2824	2832.4
Екр 41	205	205	205	205	205	2832.4	2824	2832.4
Екр 42	210	210	210	210	210	2832.4	2824	2832.4
Екр 43	215	215	215	215	215	2832.4	2824	2832.4
Екр 44	220	220	220	220	220	2832.4	2824	2832.4
Екр 45	225	225	225	225	225	2832.4	2824	2832.4
Екр 46	230	230	230	230	230	2832.4	2824	2832.4
Екр 47	235	235	235	235	235	2832.4	2824	2832.4
Екр 48	240	240	240	240	240	2832.4	2824	2832.4
Екр 49	245	245	245	245	245	2832.4	2824	2832.4
Екр 50	250	250	250	250	250	2832.4	2824	2832.4

Рис.3.2.3 - Результати проведення 50 експериментів використовуючи об'єкт

ExperimentManager

Хоча отримана діаграма (рис.3.1.2) свідчить, що виробниче обладнання, задіяне для оброблення деталі “Штанга” потребує заміни на більш ефективніші типи, з точки зору собівартості виготовлення деталей, заміна фрезерних верстатів на верстат з ЧПК є менш затратною, ніж заміна чотирьох токарних верстатів та двох свердлильних на три токарно - фрезерні верстати. Нову конфігурацію дільниці для механічної обробки зображено на рисунку 3.2.1.

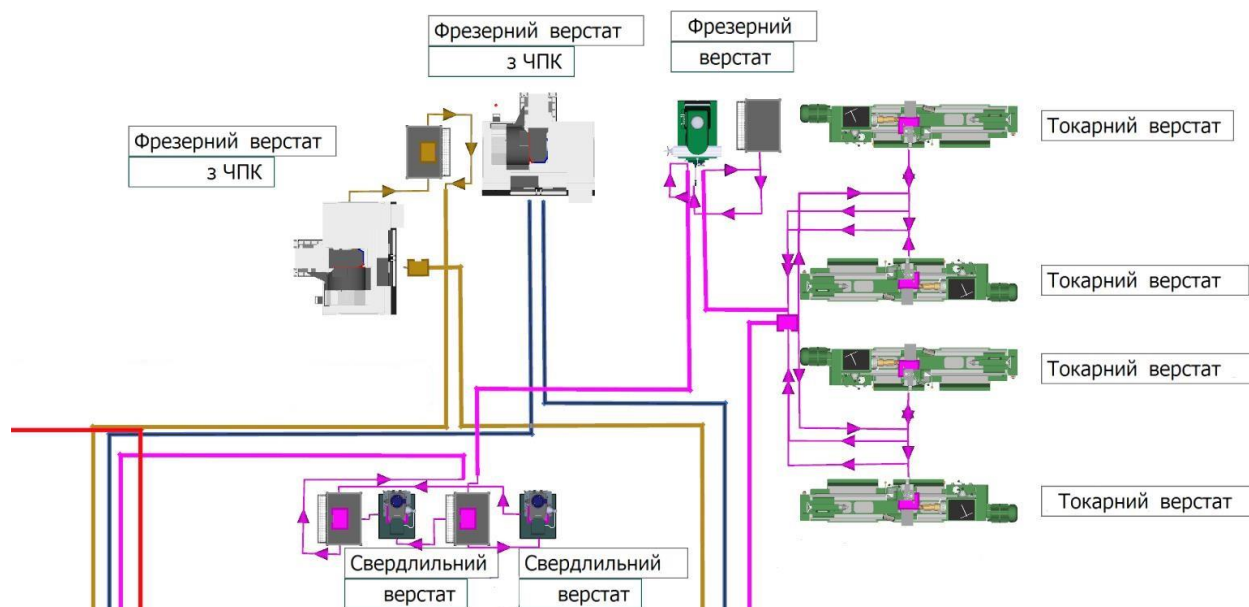


Рис.3.2.1 - Оптимізована конфігурація дільниці для механічної обробки деталей

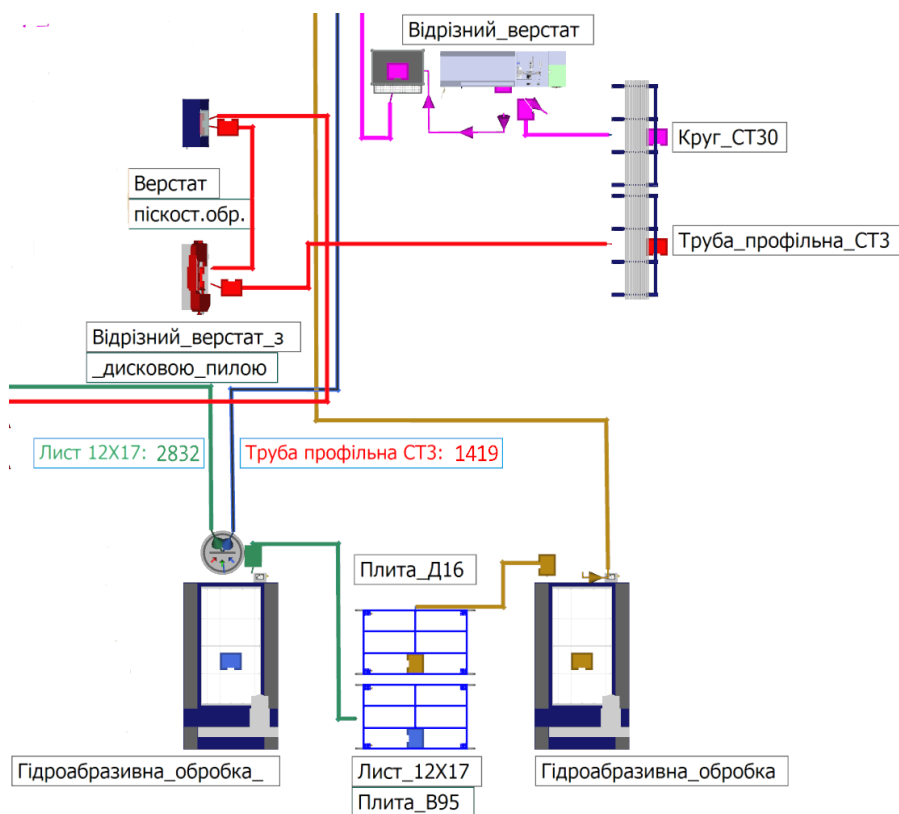


Рис.3.2.2 - Оптимізована конфігурація заготівельної дільниці

3.3 Перевірка запропонованих шляхів підвищення ефективності

Оцінку ефективності проводимо тими ж інструментами, що і для вихідної конфігурації виробничого процесу. Дочекавшись закінчення процесу імітаційного моделювання, отримуємо показники річного обсягу виробництва деталей “Стійка”, “Колодка”, “Штанга” (рис.3.3.1).

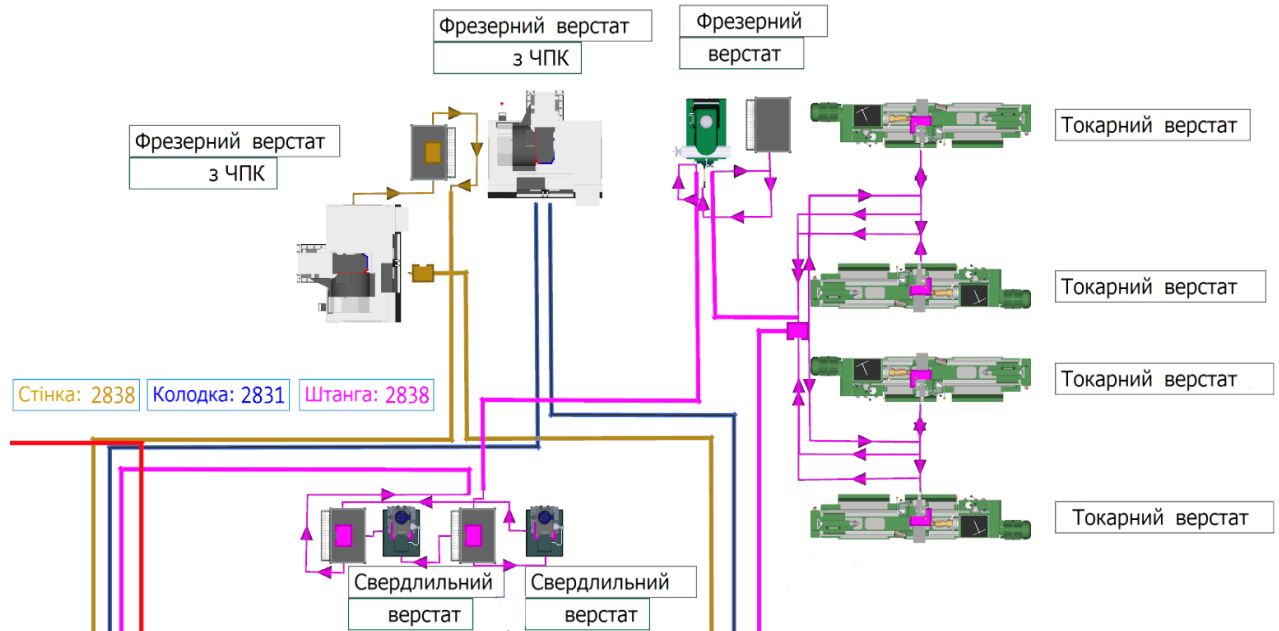


Рис.3.3.1 - Річний обсяг виробництва деталей “Стійка”, “Колодка”, “Штанга” модифікованої конфігурації дільниці

Отже, модифікована конфігурація дільниці здатна забезпечити річний обсяг виробництва компонентів пакувальної машини в середньому у 2836 деталей, що на 9,3 % більше, ніж вихідна конфігурація дільниці для механічної обробки деталей. Побудуємо діаграму розподілу робочого часу обладнання модифікованої дільниці механообробки, використовуючи об'єкт *Chart* (рис.3.3.2). Для отримання точних показників розподілу часу для кожної одиниці верстатного обладнання, використаємо об'єкт *BottleneckAnalyzer*, звіт про роботи якого має дані про величину кожної складової робочого часу. Візуалізація матеріалопотоків за допомогою об'єкту *SankeyDiagram* є недоцільною через незначну зміну річного обсягу виробництва компонентів пакувальної машини. Оцінюючи діаграму розподілу робочого часу скоригованої конфігурації дільниці та звіт об'єкту *BottleneckAnalyzer*, можна зробити наступні висновки:

- на дільниці для механічної обробки деталей відсутнє верстатне обладнання, що знаходиться в стані блокування;
- фрезерний верстат з ЧПК, що використовується для оброблення деталі “Колодка” в часовому проміжку величиною 26 % від робочого часу знаходиться в стані робота;
- фрезерний верстат з ЧПК, що використовується для оброблення деталі “Стінка” в часовому проміжку величиною 24 % від робочого часу знаходиться в стані робота;
- універсальне верстатне обладнання, що використовується для оброблення деталі “Штанга” в часовому проміжку величиною в середньому 25 % від робочого часу знаходиться в стані роботи.

З огляду на зроблені висновки, можна підсумувати, що для подальшого підвищення ефективності дільниці механообробки, а саме збільшення річного обсягу виробництва компонентів пакувальної машини, необхідно замінити універсальне верстатне обладнання на верстатне обладнання з ЧПК. Водночас, потрібно точно розрахувати потребу в цих модифікаціях, адже вони потребують значних капіталовкладень.

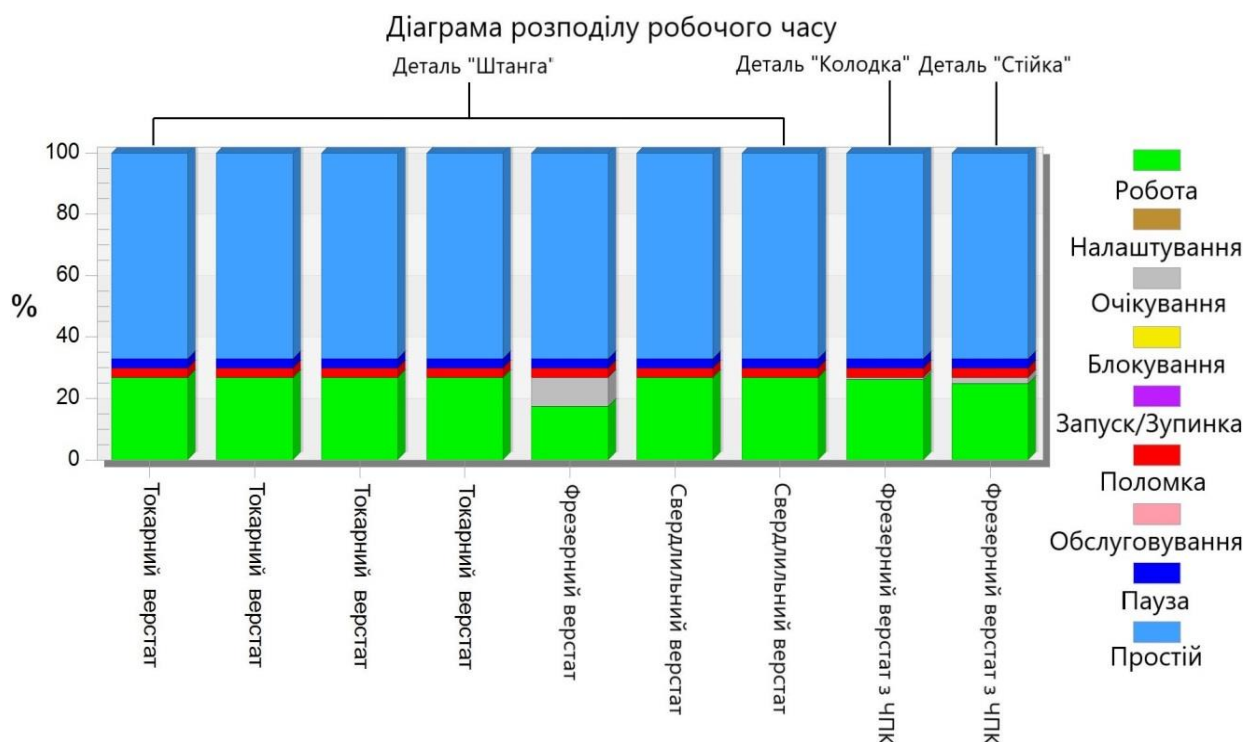


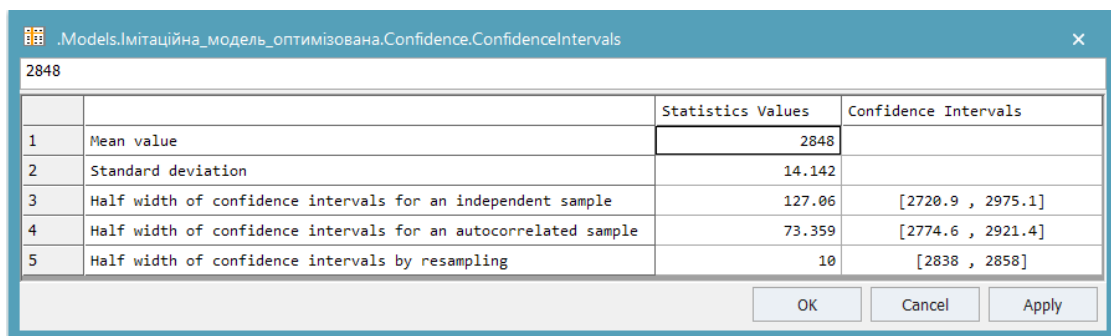
Рис.3.3.2 - Діаграма розподілу робочого часу модифікованої дільниці для механічної обробки деталей

3.4 Статистичні дослідження

Виконаємо базові статистичні дослідження розробленої імітаційної моделі, такі як:

- обчислення довірчого інтервалу річного обсягу виробництва компонентів пакувальної машини та готових одиниць обладнання;
- регресійний аналіз для пошуку коефіцієнту кореляції показників ділянки для механічної обробки деталей та виробничого процесу в цілому;

Для обчислення довірчого інтервалу для показників ділянки механічної обробки та виробничого комплексу використовуємо об'єкт *ConfidenceIntervals*, що також здатний визначати середнє значення, середнє квадратичне відхилення та напівширину довірчого інтервалу. Отже, розраховуємо довірчий інтервал та пов'язані показники для деталі “Стійка” (рис.3.4.1), “Колодка” (рис.3.4.2), “Штанга” (рис.3.4.3).



		Statistics Values	Confidence Intervals
1	Mean value	2848	
2	Standard deviation	14.142	
3	Half width of confidence intervals for an independent sample	127.06	[2720.9 , 2975.1]
4	Half width of confidence intervals for an autocorrelated sample	73.359	[2774.6 , 2921.4]
5	Half width of confidence intervals by resampling	10	[2838 , 2858]

Рис.3.4.1 - Розрахунок довірчого інтервалу для показника річного обсягу виробництва деталі “Стійка”

Оцінюючи отримані показники, робимо висновок, що з заданою вірогідністю у 95 % річний обсяг виробництва деталі “Стійка” лежить в інтервалі від 2838 до 2858 деталей на рік. Напівширина довірчого інтервалу становить 10 деталей. Це значення розраховано за методом статистичного бутстрепа, що означає генерацію вибірок за методом Монте - Карло на основі існуючих вибірок. В нашому випадку це значення встановлено на рівні 50, що означає 50 разову передискретизація початкової вибірки. Досліджувана вибірка отримана за допомогою об'єкту *ExperimentManager*, що є об'єктом планування експериментів для визначення впливу різного роду факторів на виробничий процес.

.Models.Імітаційна_модель_оптимізована.Confidence.ConfidenceIntervals			
2825.9			
		Statistics Values	Confidence Intervals
1	Mean value	2825.9	
2	Standard deviation	22.373	
3	Half width of confidence intervals for an independent sample	16.017	[2809.9 , 2841.9]
4	Half width of confidence intervals for an autocorrelated sample	16.848	[2809.1 , 2842.7]
5	Half width of confidence intervals by resampling	12	[2813.9 , 2837.9]
		OK	Cancel Apply

Рис.3.4.2 - Розрахунок довірчого інтервалу для показника річного обсягу виробництва деталі “Колодка”

Для розрахунку довірчого інтервалу річного обсягу виробництва деталі “Колодка”, використаємо аналогічний метод. Отже, з вірогідністю у 95 % річний обсяг виробництва деталі “Колодка” лежить в інтервалі від 2814 до 2838 деталей на рік. Напівширина довірчого інтервалу становить 12 деталей, середнє значення для експерименту, що відтворює 5 - річну роботу підприємства становить 2825 деталей, середнє квадратичне відхилення становить приблизно 22 деталі.

.Models.Імітаційна_модель_оптимізована.Confidence.ConfidenceIntervals			
2835.4			
		Statistics Values	Confidence Intervals
1	Mean value	2835.4	
2	Standard deviation	22.471	
3	Half width of confidence intervals for an independent sample	16.087	[2819.3 , 2851.5]
4	Half width of confidence intervals for an autocorrelated sample	16.986	[2818.4 , 2852.4]
5	Half width of confidence intervals by resampling	12.1	[2823.3 , 2847.5]
		OK	Cancel Apply

Рис.3.4.3 - Розрахунок довірчого інтервалу для показника річного обсягу виробництва деталі “Штанга”

З вірогідністю у 95 % річний обсяг виробництва деталі “Штанга” лежить в інтервалі від 2823 до 2847 деталей. Напівширина довірчого інтервалу становить 12 деталей, середнє значення для дослідження на протязі 5 років роботи підприємства становить 2835 деталей, середнє квадратичне відхилення становить 22 деталі. Наступним кроком є розрахунок довірчого інтервалу для виробничого комплексу в цілому (рис.3.4.4).

.Models.Імітаційна_модель_оптимізована.Confidence.ConfidenceIntervals			
1408.6			
		Statistics Values	Confidence Intervals
1	Mean value	1408.6	
2	Standard deviation	11.587	
3	Half width of confidence intervals for an independent sample	8.2956	[1400.3 , 1416.9]
4	Half width of confidence intervals for an autocorrelated sample	8.9744	[1399.6 , 1417.6]
5	Half width of confidence intervals by resampling	6.15	[1402.4 , 1414.8]
		OK	Cancel Apply

Рис.3.4.4 - Розрахунок довірчого інтервалу для показника річного обсягу виробництва пакувальної машини АРУК 80

Розглядаючи результати розрахунку довірчого інтервалу для показнику річного обсягу виробництва пакувальної машини АРУК 80, робимо наступні висновки:

- річний обсяг виробництва з вірогідністю в 95 % лежить в інтервалі між 1402 та 1414 одиниць на рік;
- напівширина довірчого інтервалу становить 6 одиниць;
- середнє значення для 5 - річного періоду виробництва становить 1408 одиниць;
- середнє квадратичне відхилення становить 11 одиниць.

Для проведення регресійного аналізу для визначення коефіцієнтів кореляції між виробничою потужністю верстатного обладнання дільниці для механічної обробки та річного обсягу випуску пакувальних машин АРУК 80, побудови і дослідження функції регресії, необхідно скомпонувати функціональні можливості програмного середовища Tecnomatix Plant Simulation та ПРІАМ 2.0. У програмному забезпеченні Tecnomatix Plant Simulation програмуємо об'єкт *ExperimentManager* на проведення 64 експериментів для визначення наявності кореляційного зв'язку між показниками ефективності верстатного обладнання та річного обсягу випуску продукції (рис.3.4.5, 3.4.6)

.Models.Імітаційна_модель_оптимізована.ExperimentManager1.Input

Specify the input values for the simulation study.

root._Токарний_верстат_.ProcTime

	Input Values	Description
1	root._Токарний_верстат_.ProcTime	Час оброблення деталі "Штанга" на токарному верстаті 1
2	root.Токарний_верстат_.ProcTime	Час оброблення деталі "Штанга" на токарному верстаті 2
3	root.Токарний_верстат_.ProcTime	Час оброблення деталі "Штанга" на токарному верстаті 3
4	root.Токарний_верстат_.ProcTime	Час оброблення деталі "Штанга" на токарному верстаті 4
5	root._Фрезерний_.ProcTime	Час оброблення деталі "Штанга" на фрезерному верстаті
6	root.Свердильний_.ProcTime	Час оброблення деталі "Штанга" на свердильному верстаті 1
7	root.Свердильний_.ProcTime	Час оброблення деталі "Штанга" на свердильному верстаті 2
8	root.Фрезерний_верстат_.ProcTime	Час оброблення деталі "Колодка" на фрезерному верстаті з ЧПК
9	root.Фрезерний_верстат_.ProcTime	Час оброблення деталі "Стінка" на фрезерному верстаті з ЧПК

OK Cancel Apply

Рис.3.4.5 - Вхідні змінні для проведення експериментів

.Models.Імітаційна_модель_оптимізована.ExperimentManager1.Output

Specify the output values for the simulation study.

root.Drain.StatDeleted

	Output Values	Description
1	root.Drain.StatDeleted	Кількість готових одиниць продукції

< >

OK Cancel Apply

Рис.3.4.6 - Цільовий показник експерименту

Водночас, робочу матрицю для експерименту, будемо створювати в програмному продукту ПРИАМ 2.0, адже саме в цій програмі проводиться регресійний аналіз. Першим кроком створення робочої матриці експерименту є опис змінних експерименту (рис.3.4.7).

DOSBox 0.74-2, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Progra...

ESC - Выход F5 - протокол ALT-F5 - принтер F10 - новое описание

КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕМЕННЫХ (F2)	9	НОМЕР ТЕКУЩЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ (PgDn PgUp)	1
ИМЯ (F3)	T1	ТИП (F4)	Изменяющаяся с шагом
НИЖНЯЯ ГРАНИЦА (F6)	7.005	ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА (F7)	14.01
ШАГ ИЗМЕНЕНИЯ (F8)	1		

Редактирование объектов ПРИАМ Рабочий раздел

Рис.3.4.7 - Опис змінних в продукті ПРИАМ 2.0

Послідовно задаємо 9 перемінних, що відповідають часу оброблення деталі на кожному верстаті дільниці для механічної обробки деталей. Ідея експерименту полягає в тому, щоб перевірити, чи зможе 50 % підвищення ефективності кожного верстатного обладнання значно змінити річний обсяг виробництва пакувальної машини АРУК 80. Після опису перемінних, засобами програмного продукту ПРИАМ 2.0 послідовно конструємо план експерименту (рис.3.4.8) та робочу матрицю експерименту (рис.3.4.9).

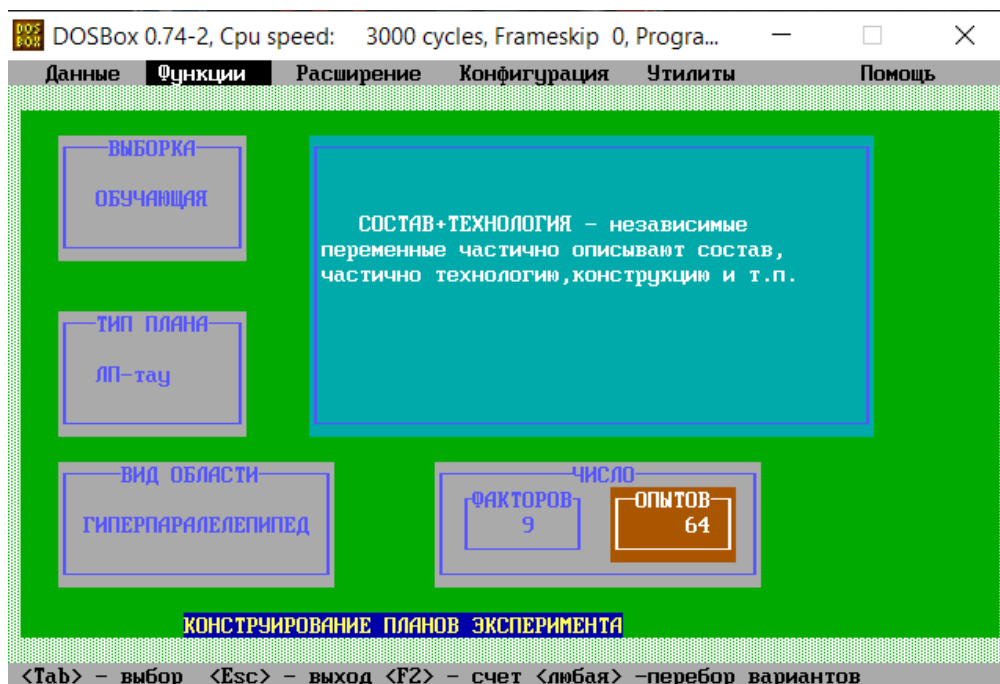


Рис.3.4.8 - Конструювання плану експерименту

№Им.	1 X1	2 X2	3 X3	4 X4
1	11.005	11.005	11.005	11.005
2	9.005	13.005	9.005	13.005
3	13.005	9.005	13.005	9.005
4	8.005	12.005	14.005	14.005
5	12.005	8.005	10.005	10.005
6	10.005	10.005	12.005	8.005
7	14.005	14.005	8.005	12.005

Рис.3.4.9 - Створена робоча матриця експерименту

Наступним кроком є експорт робочої матриці в файл Microsoft Excel за допомогою наданих розробником програмного додатку ПРИАМ 2.0 макросів та наступний імпорт в середовище Tescnomatix Plant Simulation. Одним з питань взаємодії цих середовищ, є питання використання розділових знаків. Отже отримані робоча матриця та матриця результатів експерименту потребує відповідного форматування даних. Кінцевий результат імпорту в середовище Tescnomatix Plant Simulation зображено на рисунку 3.4.10.

Рис.3.4.10 - Імпортована в середовище Tescnomatix Plant Simulation робоча матриця експерименту

Провівши експеримент, необхідно експортувати матрицю результатів в програмний додаток ПРИАМ 2.0 (рис.3.4.11).

№п/п	1 Y10	2 Y11
1	1803	1802.5
2	1528	1530
3	2180	2173
4	1945	1949.5
5	1436	1435.5
6	1675	1674.5
7	2349	2330

Рис.3.4.11 - Матриця результатів

Результатом дослідження є створена діаграма розподілення коефіцієнтів кореляції (рис.3.4.12), що показує низьку кореляцію, між показниками ефективності верстатного обладнання дільниці для механічної обробки деталей та річним обсягом виробництва пакувальної машини АРУК 80, адже найбільш розповсюджене значення коефіцієнту кореляції Пірсона становить 0.097670, що означає низьку позитивну кореляцію. Отже подальше нарощування виробничих потужностей дільниці механічної обробки є недоцільним.

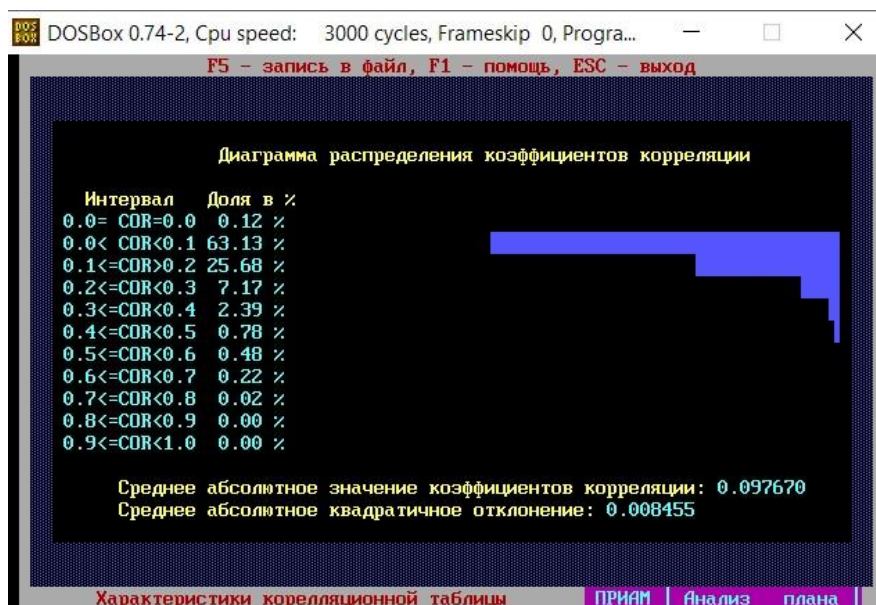


Рис.3.4.12 - Діаграма розподілення коефіцієнтів кореляції

Також використовуючи програмне забезпечення ПРИАМ 2.0, створюємо регресійну модель (рис.3.4.13) та виконуємо її перевірку за різними критеріями.

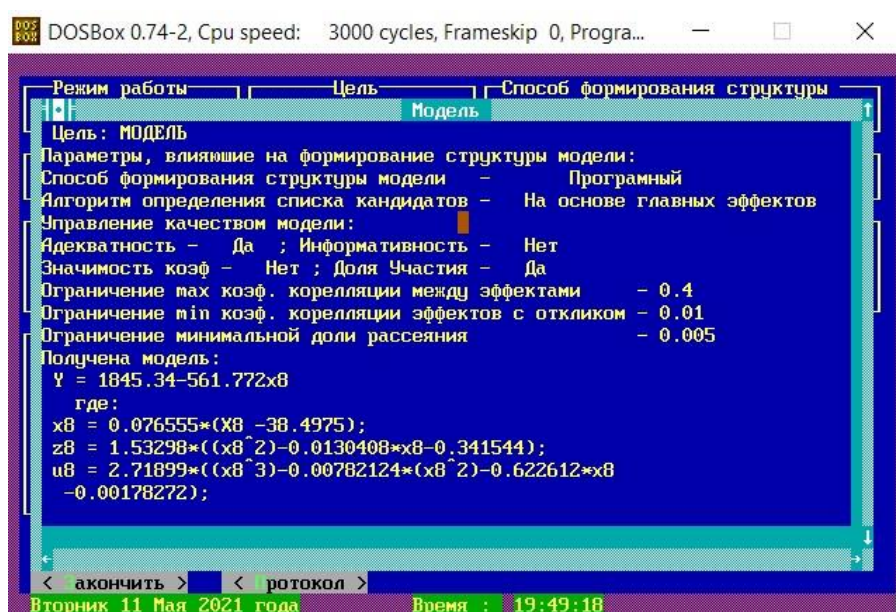


Рис.3.4.13 - Отримана регресійна модель

Висновки

У третьому розділі магістерської дисертації розглянуто показники вихідної конфігурації ділянки для механічної обробки деталей та виробничого комплексу в цілому. Розроблено ряд рекомендацій щодо зміни алгоритму виробничого процесу та перевірено ефективність впровадження цих кроків. Також проведено базові статистичні дослідження на основі показників отриманих в ході проведення імітаційних досліджень.

РОЗДІЛ 4

4.1 Опис ідеї проекту

Широкий функціонал PLM - продуктів надає змогу впроваджувати програмні рішення у будь-які бізнес процеси. Наведений в першому розділі магістерської дисертації огляд сфер застосування PLM - систем, показує, що ринок надання послуг по впровадженню таких систем у виробничі та не виробничі процеси є ємнісним, розгалуженим та вільним від конкуренції завдяки широкому полю діяльності компаній - замовників. Опис ідеї стартап - проекту наведено в таблиці 4.1.1.

Таблиця 4.1.1 - Опис ідеї стартап -проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Оптимізація бізнес - процесів засобами PLM - продуктів	1. Виробнича сфера	Збільшення обсягу виробництва, скорочення часу проектування та виробництва, зменшення собівартості продукції, масштабування виробничих ліній, покращення екологічності тощо
	2. Сфера послуг	Розширення сфери діяльності, керування стратегіями розвитку, підвищення якості обслуговування, впровадження нових технологій тощо

Розглядаючи наявний ринок надання послуг з оцифрування інжинірингових процесів, можна зробити висновок, що на даний час не існує великого списку конкурентних пропозицій з впровадження у виробничий процес PLM - продуктів. Водночас, все ж необхідно виділяти недоліки та переваги представленої пропозиції, для того щоб правильно обирати стратегію роботи в обраній сфері при умові подальшого розвитку та появи нових конкурентних пропозицій. Визначимо перелік - техніко економічних властивостей та характеристик, опираючись на модель “5 сил” М. Портера:

- розмір капіталовкладень - вартість впровадження PLM - продуктів у виробничий процес, загалом є високою, через значну потребу в матеріальних та нематеріальних ресурсах;
- постійні витрати - в цілому, також є досить значними, адже ліцензійні версії багатофункціональних продуктів мають велику вартість, але водночас здатні покривати значну кількість галузей підприємства;
- змінні витрати - є досить незначними і включають в себе модифікації цифрового обладнання або ж доукомплектування програмного продукту додатками для розширення технологічних можливостей;
- надійність - є високою і забезпечується прямим зв'язком з постачальником програмного забезпечення та швидким вирішенням помилок в системі. Цифрове обладнання також відзначається значним терміном безвідмовної роботи;
- технологічність - для програмного продукту є високою і підвищується з розвитком технологій, завдяки прямому зв'язку з компанією - виробником, що забезпечує клієнтів постачанням оновлень існуючої системи. Для цифрового обладнання, що використовується у процесі оцифрування виробничих процесів, технологічність є критичним фактором, адже неспинний процес розвитку ЕОМ означає, що щойно придбане обладнання в короткий термін стає застарілим. Вплив цього фактору дещо згладжується тривалим терміном підтримки наявного обладнання з боку постачальників програмних продуктів;
- ергономічність - також є критичним фактором надання послуг з впровадження PLM - продуктів, адже потребує масштабної кампанії з навчання персоналу, адже часто потребує складних алгоритмів для правильного збору та архівації даних;
- прибутковість - є високою, адже не потребує значних матеріальних ресурсів. Водночас, необхідні значні людські ресурси та довготривале навчання для правильного вибору, застосування та подальшої роботи з впровадженими PLM - рішеннями;

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Якщо виокремити з поняття “впровадження PLM - системи”, задачі створення “цифрового двійника” або ж проведення імітаційного моделювання процесів, пов’язаних з виробництвом, можна скоротити процес технологічного аудиту ідеї проекту та виокремити засоби реалізації ідеї проекту. Технологічний аудит ідеї проекту наведено в таблиці 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 - Технологічний аудит ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1	Імітаційне дослідження виробничих процесів	Застосування PLM - систем, а саме систем дискретно - подійного моделювання для дослідження та оптимізації виробничих процесів	Існує велика кількість систем для моделювання та дослідження виробничих процесів різних галузей виробничих та невиробничих сфер	Майже всі програмні додатки мають безкоштовні студентські ліцензії, що зазвичай мають дещо урізаний функціонал
2	Впровадження програмних засобів менеджменту процесу проектування та виробництва завдяки PLM - продуктам	Вибір та налаштування обраного PLM - продукту під унікальні вимоги замовника	Наявний широкий вибір PLM - систем, що можуть бути інтегровані до наявних CAD - та CAM - систем підприємства	Загалом недоступні для непрофесіональних користувачів, адже розкривають весь свій потенціал тільки в рамках розгалуженої системи з інтеграцією в інші програмні продукти

4.3 Аналіз ринкових можливостей

Для створення успішного продукту, необхідно заздалегідь визначити наявність попиту на послуги, що будуть виконуватися в рамках реалізації ідей стартап - проекту. Водночас, треба розуміти, що відсутність конкуренції може означати не тільки 100 % успіх створеного проекту, а й повний провал, через неактуальність створеної ідеї. Для врахування ризиків, загроз та оцінки ринкового середовища необхідно виконати аналіз попиту (таблиця 4.3.1).

Таблиця 4.3.1 - Аналіз попиту стартап - проекту

№ п/п	Показник стану ринку	Характеристика
1	Динаміка ринку	Стагнує
2	Наявність обмежень для входу	Загальна стагнація економіки та виробничої сфери, відсутність досвіду імітаційного моделювання та впровадження PLM - систем для різних галузей виробництва, загальна консервативність та недовіра до сучасних засобів моделювання та дослідження
3	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Специфічними вимогами до стандартизації є робота та презентація результатів за допомогою загально-прийнятих форматів файлів для 3D - моделей та 2D - документації. Зазвичай PLM - продукти здатні працювати або ж з уніфікованими форматами CAD - та CAM - систем в рамках лінійки продуктів одного виробника, або ж з установленими форматами міжнародних стандартів. Також необхідно врахувати потребу в сертифікації програмних продуктів за національними стандартами, для можливості здійснення діяльності з допомогою цих продуктів на території країни. Водночас, бажано отримати сертифікат офіційного представника компанії - виробника програмного забезпечення

Розглянувши результати аналізу на попит, можна зробити висновок, що реалізація проекту на основі існуючих програмних продуктів є досить складною та дороговартісною. Для отримання позитивного результату від реалізації стартап - проекту, необхідно розробити унікальну технологію застосування існуючих PLM - систем, враховуючи реалії існуючого ринку. Наступним кроком є визначення потенційних груп клієнтів та орієнтовні вимоги до надання послуг (табл.4.3.2).

Таблиця 4.3.2 - Визначення потенційних груп клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в оптимізації наявних виробничих процесів та прогнозування майбутніх показників підприємства	Застарілі виробничі комплекси, що потребують модернізації та нові підприємства на етапі проектування	Питання масштабності проведення імітаційних досліджень, тобто це дослідження всіх процесів всередині підприємства чи окремих ділянок, операцій, що визначає кінцеву вартість наданих послуг	Повнота проведення досліджень, тобто врахування всіх вагомих факторів. Водночас обґрунтована доцільність деталізації моделі, що потребує додаткових затрат. Адекватність та наочність отриманих результатів.

2	Потреба в детальному керуванні та відслідковуванні процесів проектування, виробництва, логістики тощо	Підприємства, що використовують сучасні CAD - та CAM - системи здатні до інтеграції з обраним PLM - продуктом та потребують менеджменту процесів та керування базами даних	На поведінку потенційних цільових груп впливає матеріальний фактор надання послуг, що залежить від якості та кількості наявних матеріальних та нематеріальних ресурсів, масштабу впровадження PLM - продукту, вартості ліцензійного обслуговування обраного продукту тощо	Ключовими вимогами є безвідмовність та коректність роботи програмного забезпечення, наявність підтримки та швидкість реагування на виникнені помилки в системі
---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Визначивши потенційні групи клієнтів, необхідно оцінити ринкове середовище на предмет сприятливості до реалізації ідей стартап - проекту. Для цього визначаємо можливі фактори загроз (табл.4.3.3) впровадження проекту та фактори можливостей (табл.4.3.4).

Таблиця 4.3.3 - Фактори загроз, що перешкоджають реалізації проекту

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Занепад виробничої галузі	При відсутності інтересу до розвитку виробничої сфери втрачається сенс впровадження PLM - систем	Згортання діяльності для зменшення збитків або повне перепрофілювання напрямів роботи

2	Висока вартість застосування технології	Повномасштабне впровадження PLM - продукту в процеси, що протікають на підприємствах є дуже дороговартісним заходом, при чому капіталовкладення не є одноразовими, адже ліцензійна підтримка є оплачуваною послугою	Розгляд питань доцільності повномасштабного впровадження, знаходження компромісних рішень для кожного замовника. Обґрунтування деталізації дослідження у випадку проведення імітаційного моделювання
3	Скептичне відношення щодо досліджень за допомогою цифрових технологій	Відсутність даних про досвід впровадження PLM - систем компаніями конкурентами та загальна недовіра до використання методів імітаційного моделювання, особливо в рамках застарілих підприємств	Розгортання маркетингової компанії, що включатиме інформацію про досвід впровадження PLM - систем та методології імітаційного моделювання на іноземних та вітчизняних підприємствах
4	Недостатній досвід проведення імітаційного моделювання різнопланових конфігурацій виробництва або ж впровадження PLM - систем	Через обмежену кількість прикладів впровадження технологій PLM на вітчизняному ринку, кожний новий проект буде потребувати унікального підходу, що викликатиме підвищення часу надання послуг	Використання досвіду іноземних компаній, пошук аналогів та схожих факторів, що дозволить застосувати досвід інших проектів
5	Помилки маркетингу та менеджменту	Так як проект є першовідкривачем на вітчизняному ринку, є	На початкових етапах впровадження ідеї стартап - проекту

		великий ризик прийняття помилкових рішень в організаційних та фінансових питаннях, питаннях просування продукту та стратегії розвитку	необхідно залучити експертів з питань організації роботи, роботи з клієнтами, роботи з персоналом тощо. Завдяки цьому можливо розробити алгоритм подальшої роботи, що можна бути реалізовувати вже без залучення радників з різних сфер
--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Фактори можливостей, що сприяють запуску проекту мають бути або ж більш значущими за фактори загроз, або ж рівнозначними.

Таблиця 4.3.4 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Потреба в модернізації застарілих виробничих комплексів	Сучасна вітчизняна виробнича галузь являє собою застарілі підприємства поруч з сучасними виробничими комплексами, побудованими за іноземними моделями. Питання оптимізації є критичним для конкурентоспроможності вітчизняного продукту на світових ринках	Пропозиція послуги з імітаційного дослідження виробничих процесів різного масштабу та розробка кроків оптимізації для досягнення бажаних показників

2	Потреба в керуванні життєвим циклом виробу	Майже всі світові корпорації виробничої та невиробничої сфер використовують для організації процесів різного роду PLM - системи, тому для можливості спільної роботи на проектах, вітчизняні підприємства повинні реалізовувати принципи керування даними та життєвим циклом продукту	Надання послуг по впровадженню PLM - продуктів та інтеграції у вже використовуванні CAD - та CAM - продукти
3	Потреба у впровадженні міжнародних стандартів якості в існуючий виробничий процес	Стандарти якості продукції вимагають наявності систем відслідковування кожного з етапів життєвого циклу продукту, починаючи з етапу проектування, закінчуючи утилізацією. Реалізація такого підходу можлива лише завдяки впровадженню PLM - продуктів	Підкреслення того факту, що всі компанії, що мають міжнародний сертифікат якості ISO, в обов'язковому порядку реалізують концепцію QMS, як одну з функціональних можливостей PLM - продуктів

Через відсутність схожих пропозицій на вітчизняному ринку, провести різного роду аналіз конкуренції та визначити фактори конкурентоспроможності неможливо. Розглядаючи міжнародний ринок, робимо висновок, що ринок пропозицій є насиченим і кожна з пропозицій виокремлюється залежно від

виробника програмного забезпечення, яке використовується для впровадження та проведення досліджень. тобто конкуренція здійснюється між корпораціями виробниками програмних продуктів, а не представниками цих продуктів.

Кінцевим етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є дослідження методом SWOT - аналізу [28], що являє собою створення матриці сильних та слабких сторін, а також загроз та можливостей (табл.4.3.5).

Таблиця 4.3.5 - SWOT - аналіз стартап - проекту

Сильні сторони: Реалізація сучасних технологій світової тенденції впровадження технологій “Індустрія 4.0”	Слабкі сторони: Відсутність досвіду впровадження технологій у різнофакторні виробничі процеси та врахування особливостей вітчизняних підприємств
Можливості: При стабільній економічній ситуації наявний широкий ринок потенційних клієнтів, через загальну застарілість вітчизняної виробничої галузі	Загрози: Скептицизм відносно впровадження та дослідження засобами сучасних технологій вітчизняних підприємств а також загальна стагнація виробничої сфери

На основі SWOT-аналізу визначаються альтернативи стратегій ринкової поведінки для успішного запуску стартап-проекту на ринку. Щоб виявити орієнтовний час ринкової реалізації альтернативних стратегій, необхідно опиратися на наявні пропозиції потенційні конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Альтернативними шляхами впровадження ідей стартап - проекту у випадку, що розглядається, буде використання іншого виду програмних забезпечень, що мають відмінності у функціоналі, ліцензійному обслуговуванні, вимогах до наявних ресурсах, умовах надання послуг тощо.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Початковим етапом розроблення ринкової стратегії проекту є опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.4.1).

Таблиця 4.4.1 - Опис цільових груп споживачів

№ п/ п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнто- ваний попит в межах цільової групи	Інтенсив- ність конкурен ції в сегменті	Рівень складност і входу у сегмент
1	Підприємст- ва, що потре- бують опти- мізації наяв- них виробни- чих потуж- ностей	Низька, через відсут- ність досвіду впровад- ження схожими під- приємствами	Низький	Низька	Високий
2	Виробничі ко- мплекси, що знаходяться на стадії проекткування і потребують прогнозуван- ня потреб у ресурсах та показників ефективності	Середня або ж висока, адже нові підприємст- ва будуються з огля- дом на енергоефекти- вність та доцільність інвестицій, що можна зпрогнозувати завдяки імітаційному моделю- ванню	Середній	Низька	Високий

3	Підприємства, що потребують керування життєвим циклом продукту, що виготовляється в рамках виробничого процесу	Середня або ж низька, через відсутність необхідних ресурсів для застосування PLM - систем, а отже буде існувати потреба в значних капіталовкладеннях	Низький	Низька	Високий
---	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------	--------	---------

Отже, виконавши опис цільових груп споживачів, обираємо стратегію диференційованого маркетингу, що означає роботу з декількома групами потенційних споживачів, розробивши для кожної з груп стратегію роботи. Наступним кроком є визначення базової стратегії розвитку для кожної групи споживачів. Користуючись методичними вказівками [28] встановлюємо:

- стратегію спеціалізації як базову стратегію розвитку, що означає концентрацію та задоволення потреб лише обраного сегменту ринку, без намірів охопити увесь ринок. Зазвичай, це означає низьку конкурентоспроможність компанії, проте в нашому випадку унікальної пропозиції на ринку, ця проблема на даний момент не є критичною.

Поруч з стратегією розвитку, необхідно обрати стратегію конкурентної поведінки для майбутніх умов конкурентного ринку. Використовуючи методичні вказівки [28], встановлюємо:

- стратегію заняття конкурентної ніші як стратегію конкурентної поведінки компанії, що означає вибір та робота у вузькій ніші ринку та є похідною від стратегії спеціалізації як базової стратегії розвитку.

Визначивши базову стратегію розвитку та конкурентної поведінки, визначаємо стратегію позиціонування (табл.4.4.2) за методичними вказівками [29].

Таблиця 4.4.2 - Стратегія позиціонування за ознаками

Мікро	Рівень позиціонування
Позиціонування товарної категорії	Об'єкт відносно котрого відбувається позиціонування
Нішер	Відношення до марок - конкурентів
Марка - спеціаліст	Розміщення у товарній категорії
Нова відокремлена марка	Розміщення відносно існуючих на ринку марок
За відчутними властивостями марочного товару	Тип властивостей товару, на які спирається позиціонування
Багатомірне позиціонування	Кількість обраних позицій
Одноетапне позиціонування	Етапність позиціонування
Позиціонування	Відношення до існуючої ринкової позиції

Проведений аналіз дозволяє виокремити вісім основних класів стратегій ринкового позиціонування. Використана класифікація, взята з методичних вказівок [29], дозволяє підприємству сформувати систему стратегій ринкового позиціонування, направлених на підвищенні конкурентних переваг компанії. Системне бачення концепції поведінки компанії під час індивідуалізації її торгової марки та створення бренду дозволяє досягти найбільшої ефективності та позитивного результату запуску стартап - проекту, розробивши систему рішень щодо поведінки на ринку.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Початковим етапом є формування маркетингової концепції товару, що буде представлений споживачу (табл.4.5.1).

Таблиця 4.5.1 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Оптимізація наявних виробничих потужнос- тей	Підвищення продукти- вності наявних ресур- сів	Унікальність запропо- нованої послуги прове- дження імітаційного до- слідження процесів
2	Прогнозування поведінки майбутнього виробничого процесу	Розроблення алгорит- мів майбутнього ви- робництва, прогнозу- вання потреб у ресур- сах та показників ефективності	Використання прог- рамного забезпечення, що є лідером на ринку засобів дискретно - подійного моделюван- ня
3	Потреба в поетапному контролі життєвого циклу продукту	Забезпечення техно- логій менеджменту процесів всередині підприємства, почина- ючи з процесу проєк- тування, закінчуючи процесом утилізації	Гнучка технологія впро- вадження PLM - проду- кту, що здатна врахову- вати бажаний рівень деталізації та масштаб охоплення процесів все- редині підприємства

Наступним етапом є розроблення трирівневої маркетингової моделі товару, що враховує ідею послуги, її фізичні складові та особливості надання послуги. Для цього треба врахувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл.4.5.2)

Таблиця 4.5.2 - Опис трьох рівнів моделі послуги

Рівні товару	Сутність та складові
I. Послуга за задумом	Базова потреба споживача: Оптимізація наявних виробничих процесів, прогнозування майбутніх виробничих потужностей, керування життєвим циклом продукту. Основна функціональна вигода: підвищення прибутковості виробництва
II. Послуга у реальному виконанні	1. Результати імітаційних досліджень 2. Візуалізація 3. Розробленні кроки підвищення ефективності 4. Прогнози щодо потреб у ресурсах та показників ефективності 5. Готова система керування життєвим циклом продукту, що створена на основі PLM - продукту
III. Послуга із підкріпленням	Рекламна кампанія, що включає інформацію про досвід використання рішень, що пропонуються іншими підприємствами різних масштабів
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання:	Оформлення ноу - хау

Визначення меж встановлених ціни є неможливим, адже відсутні конкурентні пропозиції на ринку послуг, а також кінцева ціна надання послуг включає багато факторів, таких як масштаб, рівень деталізації, наявність додаткових послуг тощо. Далі слідує визначення оптимальної системи збуту, в рамках чого здійснюється визначення наступних компонентів системи:

- варіанти збуту - збут власними силами чи із залученням посередників;
- вибір оптимальної глибини каналу збуту;

- вибір виду посередництва.

Формування системи збуту наведено в таблиці 4.5.3.

Таблиця 4.5.3 - Визначення системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Здійснюється попереднє замовлення на надання послуг, після чого замовником розробляється ТЗ проекту, обговорюються масштаби та деталізація надання послуг	Постачальник має правильно оцінити об'єм та доцільність виконання тих чи інших робіт та надати замовнику якомога точнішу кінцеву вартість надання послуг	Канал нульового рівня	Збут власними силами

Останньою складовою маркетингової програми є створення концепції маркетингових комунікацій, що має зв'язок з попередньо визначеною стратегією позиціонування а також окреслену специфіку поведінки клієнтів (табл.4.5.4). Результатом виконання пункту розроблення маркетингової програми стартап - проекту є стати програма управління, що включає в себе концепцію послуги, методи збуту, засоби рекламної компанії та прогноз можливостей ціноутворення, що спирається на вимоги та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги послуги, стан та динаміку ринку надання послуг, в межах якого буде впроваджено проект, та можливі альтернативні стратегії ринкової поведінки.

Таблиця 4.5.4 - Система маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Загальна недовіра та скептицизм щодо ефективності впровадження технологій PLM - систем та імітаційного моделювання в реаліях вітчизняної виробничої галузі	Реклама на галузевих ресурсах та заходах, рекомендації гравців ринку, партнерство, корпоративні канали	Унікальність та ефективність запропонованих послуг, індивідуальний підхід, довгострокова підтримка	Донесення інформації про ефективність запровадження технологій, що підтверджується досвідом інших компаній	Просування характеристик запропонованих послуг, таких як ексклюзивність в рамках ринкового середовища, індивідуальність підходу та висока ефективність

Маркетингові комунікації поєднують у собі всі елементи реалізації бізнес процесу при запуску стартап - проекту – від рекламної кампанії до упаковки. Сприяють отриманню взаємоузгоджених та переконливих маркетингових звернень цільовою аудиторією, які мають максимально ефективно сприяти досягненню цілей постачальників послуг в умовах ринкового середовища.

Висновки

В ході виконання четвертого розділу магістерської дисертації, що являє собою етап розроблення стартап - проекту, виконано наступні дослідження майбутнього проекту:

- опис ідеї проекту, з розкриттям змісту ідеї, можливих сфер надання послуг, виокремлення сильних та слабких сторін ідеї стартап - проекту, як для постачальника, в нашому випадку послуги, так і для споживачів;
- технологічний аудит ідеї проекту, з виокремленням ключових пропозицій в рамках стартап - проекту, з визначенням наявності та доступності технологічних засобів для надання послуг для засновників проекту;
- аналіз ринкових можливостей, що включає аналіз попиту стартап - проекту, визначення потенційних груп споживачів, встановлення факторів загроз виходу продукту на ринок та факторів можливостей реалізації проекту, а також SWOT - аналіз майбутньої послуги;
- розробка ринкової стратегії проекту, що включає визначення базової стратегії розвитку компанії, конкурентної поведінки та позиціонування продукту в рамках ринкового середовища;
- розробка маркетингової складової проекту, що містить визначення ключових переваг майбутнього продукту, опис моделі послуги, вибір системи збуту та встановлення системи маркетингових комунікацій.

Розглядаючи дані, отримані в ході досліджень, можна зробити висновок, що стартап - проект має перспективи ринкової комерціалізації, через наявність попиту на ринку, що викликаний реаліями вітчизняної виробничої галузі. Водночас, ринок, на якому планується впровадження стартап - проекту знаходиться в стані стагнації, через загальні економічні проблеми, проте запропонований продукт має потенційну високу рентабельність роботи на ринку. Оглядаючи групи потенційних клієнтів, визначаємо, що попит на послуги в рамках стартап - проекту є середнім або ж низьким, через загальний скептицизм щодо використання сучасних цифрових технологій на вітчизняному ринку. Бар'єр входження на ринок є високим, через можливий недостатній

попит, обмежену торгову практику, безповоротність витрати, проте ці фактори дещо згладжуються відсутністю аналогічних пропозицій на ринку, а отже низькою конкуренцією на ринку та високою конкурентоспроможністю запропонованого продукту. Альтернативними варіантами розвитку проекту, є вхід у інші галузі виробничої сфери, такі як сільське господарство та нафтопаливна промисловість, що знаходяться в кращому економічному стані, а отже можуть забезпечити стабільний попит на реалізацію запропонованих послуг. Подальша імплементація проекту є доцільною якщо розглядати питання використання імітаційного моделювання та впровадження PLM - систем не тільки в рамках машинобудування, а й інших галузей виробничої сфери.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В першому розділі розкрито поняття PLM - систем, види PLM - систем за напрямком впровадження, основні принципи впровадження PLM - продуктів у виробничий процес, недоліки та переваги використання технологій керування життєвим циклом виробу. Наведено опис технологій, що є складовими концепції “Індустрія 4.0”, таких як імітаційна модель та “цифровий двійник”, особливості структури, методи застосування та ключові відмінності між цими поняттями. Окремо окреслено поняття дискретно - подійного моделювання, як виду імітаційного моделювання, що використовується для досліджень проведених в ході виконання магістерської дисертації. Наведено огляд програмного продукту для проведення дискретно - подійного моделювання Siemens Tecnomatix Plant Simulation, особливостей його будови та функціональних можливостей.

В другому розділі магістерської дисертації виконано аналіз вихідних даних, що використовуються для розроблення візуальної 3D - моделі та імітаційної моделі. Аналітичним методом призначено величину $T_{пз}$ для кожної операції та $T_{ш}$ для операцій, що не були попередньо нормовані. Наведено опис об'єктів класів та бібліотек класів, що використовуються для створення імітаційної моделі, методологію їх налаштування та алгоритм застосування.

В третьому розділі магістерської дисертації виконано аналіз вихідної конфігурації імітаційної моделі дільниці для механічної обробки деталей, використовуючи функціонал програмного забезпечення Tecnomatix Plant Simulation. На основі аналізу показників вихідної конфігурації імітаційної моделі, розроблено ряд рекомендацій для підвищення ефективності дільниці механічної обробки та виробничого комплексу в цілому та виконано перевірку доцільності впровадження розроблених рекомендацій. Виконано базові статистичні аналізу модифікованої конфігурації дільниці для механічної обробки деталей задля визначення ширини довірчого інтервалу, розрахунку регресійної моделі та перевірки наявності кореляційного зв'язку.

В четвертому розділі магістерської дисертації описано основну ідею стартап - проекту, проведено технологічний аудит ідеї проекту та аналіз ринкових можливостей. Визначено ринкову та маркетингову стратегію поведінки та розвитку стартап - проекту.

Рекомендації щодо подальшого використання отриманих даних та проведення нових досліджень в цілому:

- доцільним є визначення наявності кореляційного зв'язку між показниками надійності, часу оброблення та часу налаштування, станцій, що розміщуються на фарбувальній, зварювальній, збиральній, пакувальній ділянках та річним обсягом випуску пакувальної машини АРУК 80 для розроблення подальших шляхів підвищення ефективності виробничого процесу;
- врахувати багатоміністерність існуючого виробництва для проведення подальших досліджень;
- змодельовати наявність робітників на кожній ділянці для визначення розподілу робочого часу кожного працівника, що також є шляхом пошуку методів підвищення ефективності;
- врахувати систему контролю якості виготовлених деталей у майбутніх дослідженнях;
- врахувати систему складування та процеси пов'язані зі зберіганням та розподіленням комплектуючих у складських приміщеннях підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. All About PLM, CIMdata, <https://www.cimdata.com/en/resources/about-plm, 2/20/2019>
2. Top 19 Product Lifecycle Management (PLM) Software, <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-product-lifecycle-management-plm-software/> .
3. Plant Simulation and Throughput Optimization, <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html> .
4. Pedro Sanín Pérez. *A “PLM” implementation in a design project course of product design engineering program. Graduation Project*. EAFIT University Product Design Engineering Department. Medellín, 2010.
5. Silventoinen, Anneli & Papinniemi, Jorma & Lampela, Hannele. (2009). *A Roadmap for Product Lifecycle Management Implementation in SMEs*.
6. Shikha Singh, Subhas Chandra Misra, (2018) "*Identification of barriers to PLM institutionalization in large manufacturing organizations: A case study*", Business Process Management Journal, <https://doi.org/10.1108/BPMJ-12-2017-0367>
7. Peter Trebuña, Marek Kliment, Milan Edl, Marián Petrik, Creation of Simulation Model of Expansion of Production in Manufacturing Companies, Procedia Engineering, Volume 96, 2014, Pages 477-482, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.118>
8. Shohin Aheleroff, Xun Xu, Ray Y. Zhong, Yuqian Lu, *Digital Twin as a Service (DTaaS) in Industry 4.0: An Architecture Reference Model*, Advanced Engineering Informatics, Volume 47, 2021, 101225, ISSN 1474 - 0346, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101225>
9. ISO 23247-1, 2000 - Automation systems and integration - digital twin framework for manufacturing - Part 1: Overview and general principles.
10. D. Wobschall, "*IEEE 1451—a universal transducer protocol standard*" 2007 IEEE Autotestcon, 2007, pp. 359-363, [doi: 10.1109/AUTEST.2007.4374241](https://doi.org/10.1109/AUTEST.2007.4374241)

11. Mengnan Liu, Shuiliang Fang, Huiyue Dong, Cunzhi Xu, *Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications*, Journal of Manufacturing Systems, Volume 58, Part B, 2021, Pages 346-361, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.017>
12. Anu Maria. 1997. *Introduction to modeling and simulation*. In Proceedings of the 29th conference on Winter simulation (WSC '97). IEEE Computer Society, USA, 7–13. DOI: <https://doi.org/10.1145/268437.268440>
13. Birta, L. G., & Arbez, G. (2019). *Modelling and Simulation*. In Simulation Foundations, Methods and Applications. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18869-6>
14. Fishman, G. S. (2001). *Discrete-Event Simulation*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3552-9>
15. Kong, Q., Siau, T., & Bayen, A. M. (2021). *Object-Oriented Programming. In Python Programming and Numerical Methods*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819549-9.00016-6>
16. Siderska, J. (2016). *Application of tecnomatix plant simulation for modeling production and logistics processes*. Business, Management and Education, 14(1), 64–73. <https://doi.org/10.3846/bme.2016.316>
17. Siemens SW Tecnomatix Plant Simulation Runtime Fact Sheet, <https://siemens.mindsphere.io/content/dam/cloudcraze-mindsphere-assets/plm/tecnomatix/Siemens%20SW%20Tecnomatix%20Plant%20Simulation%20Runtime%20Fact%20Sheet.pdf>
18. Технология гидроабразивной резки, <https://www.shtorm-its.ru/info/articles/tekhnologiya-gidroabrazivnoy-rezki-/>
19. Центральное бюро нормативов по труду при Научно-исследовательском институте труда Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам. *Общемашиностроительные нормативы времени на заготовительные работы по металлоконструкциям*; “Экономика”: Москва, 1991.

20. Министерство жилищно-коммунального хозяйства РСФСР Ленинградский научно-исследовательский институт ордена Трудового Красного Знамени Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. *Типовая технологическая карта № 7. Очистка от загрязнений фасадов зданий, окрашенных перхлорвиниловыми красками.* Ленинград. 1974.

21. И.М. Морозов, В.И. Гузеев, С.А. Фадюшин. *Техническое нормирование операций механической обработки деталей.* Учебное пособие. Компьютерная версия. Издание второе, переработанное. Издательство ЮУрГУ. Челябинск. 2005.

22. Контроль сварочных работ - Нормирование сварочных работ, <http://electrowelder.ru/index.php/kontrolsvar.html?start=6>

23. Центральное бюро нормативов по труду при Научно-исследовательском институте труда Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам. *Общемашиностроительные нормативы времени на лакокрасочные покрытия.* “Экономика”: Москва, 1990.

24. *Нормирование технологического процесса сборки : «Технологическое оборудование машиностроительных производств»* – Минск: БНТУ, 2019 - 37 с.

25. *Нормы технологического проектирования предприятий машиностроения, приборостроения и металлообработки. Механообрабатывающие сборочные цехи.*

26. M.R.K. Mes (2017). *Simulation Modelling using Practical Examples: A Plant Simulation Tutorial.* University of Twente, Enschede, The Netherlands.

27. Bangsow, S. (2020). *Tecnomatix Plant Simulation.* Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41544-0>

28. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : *Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей* / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

29. Зозульов О. *Стратегії ринкового позиціонування товару на споживчому ринку.* // Економіка України. – 2006. - № 10 (539). – С. 43-48